
**IMPACTO ECONÓMICO DEL USO DE ADITIVOS A BASE DE NANOSÍLICE EN
MEZCLAS DE CONCRETO CON CENIZAS VOLANTES. CASO: AHINCO S. A.**

**AUTOR:
DANIEL GÓMEZ ARCILA**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR:
INGENIERO CIVIL JUAN ESTEBAN GÓMEZ R.**



ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

**INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO OCTUBRE DE 2013**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi supervisor y padre Juan Esteban Gómez R. por su ayuda y apoyo durante la ejecución del proyecto. Apreció mucho todos sus comentarios, sugerencias y contribuciones a esta investigación.

Mis agradecimientos también van dirigidos a todos los profesionales que contribuyeron con este proyecto, especialmente a Hernán Dario Mesa por su constante acompañamiento y contribuciones.

A mi familia: Olga Elena Arcila, Juan Esteban Gómez, Carolina, Melissa, Susana y Andrea Echeverri, gracias por haber creído siempre en mí, apoyarme, acompañarme y aguantarme.

A Alejandro Correa Soto por su amistad y dedicación en la ejecución del anteproyecto. Aprecio realmente todas sus ideas y buenos consejos.

Al cuerpo de profesores y demás trabajadores de la institución.

Y, por último, a mis compañeros de Ingeniería Civil por haberme acompañado estos 5 años.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO 1.....	14
1 PRELIMINARES	14
1.1 Problema.....	14
1.1.1 Contexto y caracterización del problema	14
1.1.2 Formulación del problema	17
1.2 Objetivos del proyecto.....	18
1.2.1 Objetivo General:	18
1.2.2. Objetivos Específicos:	18
1.3 Marco de referencia	18
CAPITULO 2.....	27
2 Diseño metodológico.....	27
2.1 Recolección de Información:.....	27
2.2 Definición de dosificaciones y ensayos:.....	27
2.3 Consolidación y Análisis de Resultados:.....	29
2.4 Presentación de Resultados:	29
CAPITULO 3.....	30
3. Impacto económico del uso de aditivos a base de nanosílice en mezclas de concreto con cenizas volantes. Caso AHINCO S. A.	30
3.1. Aditivos a base de nanosílice	30
3.2. Determinación de la dosificación óptima	32
3.2.1. Determinación de las cantidades de material cementante.....	32
3.2.1.1. Método analítico.....	34

3.2.1.2. Método experimental.....	39
3.2.2. Dosificación óptima	46
3.2.2.1. Método analítico	47
3.2.2.2. Método experimental	50
3.3. Análisis de costos para altos y bajos volúmenes de producción.	57
CAPITULO 4.....	61
4. CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS.....	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Precio del aditivo NANOFLUID AR	32
Tabla 2. Dosificación base (Patrón)	33
Tabla 3. f'_{cr} (f'_c de diseño).....	34
Tabla 4. Relación agua/cemento.....	35
Tabla 5. Cantidades de material cementante (caso 1)	36
Tabla 6. Cantidades de material cementante (caso 2)	37
Tabla 7. Cantidades de material cementante (caso 3)	38
Tabla 8. Cantidades de material cementante (caso 4)	38
Tabla 9. Dosificación óptima a 28 días según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento. Método analítico.	49
Tabla 10. Dosificación óptima según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento a los 7 días de edad. Método experimental.	52
Tabla 11. Dosificación óptima según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento a los 28 días de edad. Método experimental	55
Tabla 12. Dosificación óptima según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento a los 56 días de edad. Método experimental.	57
Tabla 13. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas. Método analítico.	58
Tabla 14. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas a los 7 días de edad. Método experimental.	59

Tabla 15. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas a los 28 días de edad. Método experimental.	59
Tabla 16. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas a los 56 días de edad. Método experimental.	60
Tabla 17. Caso hipotético sobre el beneficio de la aplicación del aditivo	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del efecto del aditivo en la mezcla.....	25
Figura 2. Cantidad de material cementante de los casos analizados por el método analítico.	39
Figura 3. Resistencia obtenida a los 7 días en función del material cementante por metro cúbico	40
Figura 4. Resistencia obtenida a los 28 días en función del material cementante por metro cúbico.....	41
Figura 5. Resistencia obtenida a los 56 días en función del material cementante por metro cúbico.....	42
Figura 6. Material cementante por metro cúbico en función de la resistencia a 7 días	44
Figura 7. Material cementante por metro cúbico en función de la resistencia a 28 días.....	45
Figura 8. Material cementante por metro cúbico en función de la resistencia a 56 días.....	45
Figura 9. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 1 (a % de aditivo). Método analítico.....	47
Figura 10. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 2 (b % de aditivo). Método analítico.	48
Figura 11. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 3 (c % de aditivo). Método analítico.....	48
Figura 12. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 4 (d % de aditivo). Método analítico.	49
Figura 13. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad. Método experimental caso 1 (a % de aditivo)	50

Figura 14. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad. Método experimental caso 2 (b % de aditivo).....	51
Figura 15. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad. Método experimental caso 3 (c % de aditivo)	51
Figura 16. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad. Método experimental caso 4 (d % de aditivo).....	52
Figura 17. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 1 (a % de aditivo)	53
Figura 18. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 2 (b % de aditivo).....	53
Figura 19. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 3 (c % de aditivo)	54
Figura 20. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 4 (d % de aditivo).....	54
Figura 21. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 1 (a % de aditivo).	55
Figura 22. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 2 (b % de aditivo).....	56
Figura 23. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 3 (c % de aditivo).	56
Figura 24. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 4 (d % de aditivo).....	57

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. PROPUESTA COMERCIAL Y FICHA TÉCNICA	65
ANEXO 2. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	70
ANEXO 3. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO ANALÍTICO	72
ANEXO 4. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL 7 DÍAS DE EDAD	74
ANEXO 5. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL 28 DÍAS DE EDAD	76
ANEXO 6. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL 56 DÍAS DE EDAD	78
ANEXO 7. EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL TIEMPO OBTENIDA POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL PARA TODOS LOS CASOS.	80
ANEXO 8. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	82

RESUMEN

La presencia de grandes empresas productoras de concreto dificulta el desarrollo de pequeñas empresas. La integración vertical y los desarrollos tecnológicos, debido a su capacidad de financiarlos, representan una ventaja muy importante para las grandes productoras.

AHINCO S. A., empresa dedicada a la producción de concretos con ceniza volante, competidora en el mercado del departamento de Antioquia con las grandes productoras, ha evidenciado la necesidad de mejorar los costos de producción y se ha propuesto el uso del aditivo más nuevo que puede encontrarse en el mercado: NANOFLUID, es un aditivo a base de nanopartículas de sílice suspendida en un fluido que permite reducir la cantidad de agua en el concreto y tiene propiedades de plastificación en alto rango.

Para lo anterior, ha decidido apoyar esta investigación mediante la elaboración de varias mezclas falladas a compresión axial en cilindros de concreto con ceniza volante, cuatro porcentajes diferentes de aditivo para determinar si es posible reducir la cantidad de material cementante (cemento + ceniza volante), obteniendo menores costos de producción.

Se espera construir una serie de curvas (Resistencia vs. Material cementante), regidas por los porcentajes de aditivo en cuestión que brindarán información muy importante para conocer el comportamiento de las mezclas con estos aditivos y el efecto económico del mismo.

Al obtener los resultados del laboratorio y construir los gráficos para edades del concreto de 7, 28 y 56 días, se hace un análisis de costos en función de la cantidad de material cementante y aditivo por metro cúbico de concreto. Se concluye que se logran obtener resistencias muy altas en comparación a la mezcla de referencia, pero la reducción de costos no es tan significativa debido al factor de seguridad

exigido por la NSR-10 para diseños de mezclas que no estén soportados estadísticamente.

Según lo anterior, se logra determinar que este factor de seguridad puede ser reducido y por lo tanto mejorar la reducción de costos en la medida que se tenga una mayor población de resultados. Este factor también puede ser reducido teniendo en cuenta los buenos valores para el coeficiente de determinación (R^2). Se advierte que las propiedades de durabilidad deben ser corroboradas antes de comercializar este tipo de concretos con nanoaditivos

.

ABSTRACT

The presence of large concrete producers hinders the development of small businesses. Vertical integration and technological development represent a significant advantage for large producers, because large producers can finance them.

AHINCO S. A., a company dedicated to the production of concrete with fly ash is a competitor with Antioquia's large producers. It has highlighted the need to improve production costs and has proposed the use of the newest additive on the market: Nanofluid. This product is based on silica nanoparticles suspended in a fluid, which reduces the amount of water in the concrete and has high range plasticizing properties.

AHINCO S. A., has decided to support this research through the development of various mixtures., which will be tested with axial compressive tests on concrete cylinders with fly ash and four different percentages of additive to determine if it is possible to reduce the amount of cementitious materials (cement + fly ash), resulting in lower production costs.

This investigation hopes to build a series of curves (Resistance vs .Cementitious material), governed by the percentages of the additive and they will provide important information for understanding the behavior of mixtures with this additives and the economic effect on the production cost.

With the use of laboratory results and build graphics for specific ages 7, 28 and 56 days, this research will obtain a cost analysis based on the amount of cementitious material and additive per cubic meter of concrete. The results show that it is possible to obtain very high resistance compared to the reference mixture, but cost reduction is not significant due to the safety factor required by the NSR -10 mix designs due to the fact that these designs are not supported statistically.

As above, this is accomplished by determining that the safety factor can be reduced and therefore the cost reduction will be improved. This can happen either if larger population of results is obtained or if high values of the coefficient of determination (R^2) are considered to reduce the factor. It is noted that the properties of durability must be corroborated before placing concrete such nanoadditives

INTRODUCCIÓN

El uso de aditivos químicos en los concretos es un proceso que se realiza hace más de 50 años y permite mejorar algunas características del hormigón según los requerimientos del productor, constructor o calculista, por ejemplo.

La alta demanda de insumos para la construcción, sobre todo el concreto, ha generado una competencia fuerte en el mercado de producción del mismo. El aumento progresivo del precio de las materias primas es el punto de partida para analizar posibilidades que permitan reducir los costos de producción con el fin de maximizar las utilidades. He aquí la importancia de los aditivos químicos.

La empresa AHINCO S. A. produce concretos con ceniza volante hace más de ocho años, con estándares de calidad altos y precios de venta bajos. Sin embargo, la presencia de grandes empresas productoras de concreto ha dificultado a AHINCO S. A. abarcar porciones del mercado mayores, tendiendo, incluso, productos de mejor calidad y a menores costos.

Se espera que al reducir los costos de producción aumente AHINCO S. A. sea más competitiva y para ello se ha decidido recurrir a aditivos de última generación: aditivos a base de nanosílice suspendida.

Es el objeto de esta investigación identificar los posibles beneficios económicos que generarían la implementación de las nuevas tecnologías en aditivos, aprovechando los grandes aportes que hace la ceniza volante a los concretos en términos de resistencia, durabilidad, acabado, etc., para explotar la capacidad reductora de agua y superplastificantes que estos aditivos poseen.

CAPITULO 1

1 PRELIMINARES

1.1 Problema

1.1.1 Contexto y caracterización del problema

En el mercado nacional de la producción y comercialización de concretos se encuentran dos grandes empresas multinacionales cuya participación en el mismo representa más del 90% del mercado.

Argos cuenta con 70 plantas de concreto en Colombia con una capacidad de producción de 3,5 millones de metros cúbicos al año, que la convierten en líder del mercado. Igualmente cuenta con plantas de cemento y de concreto en Centroamérica y Norteamérica las cuales, en conjunto, permitieron que la empresa facturara en 2011 3,7 billones de pesos colombianos (ARGOS S. A., 2012).

Por otro lado, Cemex cuenta con 26 plantas fijas de concreto a nivel nacional y varias plantas móviles lo que dificulta conocer la capacidad instalada precisa de producción de concreto (CEMEX COLOMBIA S. A., 2011). Esto lleva a la empresa a consolidarse como la segunda con mayor participación en el mercado. Sin embargo, la participación a nivel mundial de Cemex es importante, pues en el 2011 alcanzaron una producción de 77 millones de metros cúbicos en comparación con Argos que tuvo una producción de 14,5 millones de metros cúbicos.

Este estado del mercado lleva a que diferentes empresas que buscan ingresar a él encuentren una barrera de entrada significativa. El reconocimiento de estas multinacionales y el bajo precio de venta que ofrecen al mercado debido a la integración vertical (producción de materia prima, en este caso cemento) influyen en el fenómeno mencionado anteriormente.

La empresa AHINCO S. A., ha producido más de 140.000 m³ de concreto en ocho años de existencia, los cuales han sido destinados a proyectos de vivienda, oficinas, centros comerciales e infraestructura en general. La empresa ha buscado presentar un producto que cumpla con los resultados exigidos por el mercado en cuanto a resistencia, calidad, acabado y precio. Lo anterior, ha sido logrado al incluir un elemento importante en los concretos que produce y ha logrado una ventaja competitiva al hacerlo, este componente es la ceniza volante industrial, proveniente de la combustión de carbón utilizada en empresas que cuentan con un sistema de cogeneración (generación de energía eléctrica a partir de la energía térmica).

De esta manera, se ha logrado producir concretos de alta especificación, con insumos de alta calidad y soportados siempre por las normativas nacionales (como la NTC 3493) e internacionales (como la EHE), obteniéndose finalmente un producto de superior calidad y menor costo.

Las razones para incluir la ceniza en una mezcla de concreto, según la información presentada por la empresa en su página web (AHINCO S. A., 2013) y soportadas con estudios técnicos, se mencionan a continuación:

- Resistencias superiores a las obtenidas sin ceniza volante. La adición de ceniza volante permite obtener resistencias muy superiores en comparación con los concretos del mercado. Se ha logrado controlar las reacciones y procesos para alcanzar altas resistencias tempranas, lo que se considera un factor muy importante, pues la ceniza proporciona, sobre todo, grandes aportes en la resistencia tardía.
- La variación del color del producto terminado no es apreciable si hay buen control de calidad de la ceniza.
- La textura del concreto y el acabado del mismo es superior. Se logra una textura más pareja y un acabado menos poroso.

- Concretos menos permeables. Debido a la disminución de agua en la mezcla y el tamaño de la partícula de ceniza, (ASTM INTERNACIONAL) se logra una reducción en el tamaño de los poros al generarse una pasta de mayor volumen.
- Concretos más durables. La reducción en el tamaño de los poros mitiga el efecto de los agentes agresores. Las reacciones químicas que se producen con la presencia de la ceniza son menos invasivas.
- Concretos de menor calor de hidratación. Al reducir la cantidad de cemento el calor de hidratación (calor desprendido con el contacto entre el cemento y el agua), disminuye.
- Concretos de menor retracción. Las disminuciones en la cantidad de agua y el calor generado por la mezcla, permiten tener menores variaciones de temperatura, mitigando el efecto de retracción.
- Concretos menos propensos a la segregación. La presencia de micropartículas de ceniza hace que la mezcla sea más cohesiva y menos propensa a la segregación, entendida como la separación de los elementos (materiales pétreos, agua, cemento y ceniza).
- Concretos con mejor aptitud para el bombeo. La forma de las micropartículas, la disminución en el efecto de segregación y el aumento en la cohesión son factores que permiten un mejor bombeo.

Actualmente, AHINCO S. A. usa aditivos de tercera generación que han ayudado a reducir la cantidad de agua en proporciones menores a las cuales se puede llegar si se implementan aditivos de generaciones más avanzadas. Aquí, la importancia de desarrollar este tipo de investigaciones.

Profesionales de empresas como CONCEPTO INGENIERÍA S. A. S. e INGENIERÍA Y VIVIENDA S. A., pertenecientes al mismo grupo, están conscientes de la importancia del desarrollo tecnológico en los concretos y los aditivos. Estos

potenciales clientes y otros tantos que AHINCO S. A. posee, constituyen un mercado importante debido a los altos volúmenes de concreto que demandan, permitiendo ello la entrada de nuevos productos (aditivos) para mejorar la calidad y resistencia de los concretos, con menores costos.

1.1.2 Formulación del problema

La integración vertical de empresas como ARGOS y CEMEX ha permitido reducir los costos de producción, de manera que la brecha entre el precio de venta que ofrecen ellas y AHINCO S.A. se ha reducido. Se debe mencionar que la capacidad de ventas, fruto de la experiencia y buenos resultados, ha generado un nivel de confianza muy importante en estas compañías, por lo cual AHINCO S. A. se encuentra en una posición, no desfavorable, sino poco favorable. Siendo este el caso, teniendo en cuenta las dificultades que se presentan por la falta de la integración vertical, AHINCO S. A. encuentra la necesidad de buscar nuevas tecnologías que le permitan hacer más de lo mucho que hasta ahora ha logrado.

La ceniza como componente del concreto y su participación en la mezcla ha reducido la cantidad de cemento requerido hasta un 30 % aproximadamente, lo podría representar una reducción de costos del orden del 15 %, brindando a la empresa una ventaja económica con respecto a las anteriores, pues el ahorro es de bastante peso (AHINCO S. A., 2013). Sin embargo, uno de los valores agregados más importantes de la ceniza es su aporte a la durabilidad de los concretos, lastimosamente este factor no es muy relevante para los consumidores del mercado actual, quienes buscan las resistencias esperadas con las especificaciones de durabilidad mínimas definidas por la norma. Se entiende, entonces, que AHINCO S. A. tendría una ventaja importante si el mercado diera una mayor importancia a la durabilidad del concreto, como se hace normalmente en el mercado mundial.

AHINCO S. A. ha identificado la necesidad de optimizar sus mezclas con aditivos de última generación con los cuales se ha demostrado una reducción significativa de la cantidad de cemento en la mezcla y aunque no hay información suficiente, se ha identificado una alta probabilidad de reducir costos.

En este sentido del proceso es en el que se buscará intervenir. ¿Es posible reducir los costos operacionales de la empresa combinando los efectos del cemento, la ceniza volante y de los aditivos de última generación para la optimización de mezclas de concreto partiendo de la base de que no se alteran de manera significativa las propiedades físicas y químicas?.

1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo General:

Analizar el impacto económico del uso de aditivos a base de nanosílice en mezclas de concreto con cenizas volantes.

1.2.2. Objetivos Específicos:

1. Identificar beneficios técnicos y económicos que ofrecen los diferentes distribuidores de aditivos de séptima generación (nanosílice).
2. Determinar por medios analíticos y experimentales la proporción óptima de agua, material cementante y aditivos a base de nanosílice en mezclas de concreto que cumplan un desempeño determinado.
3. Analizar costos para bajos y altos volúmenes de producción.

1.3 Marco de referencia

Las mezclas de concreto utilizadas hoy en día por empresas como Argos están compuestas por agregados, cemento, agua, aire y en algunos casos aditivos para modificar sus propiedades (ARGOS S. A.).

AHINCO S. A., a las mezclas de concreto compuestas por cemento, agua, materiales pétreos y aditivos químicos, les incluye cenizas volantes que permiten obtener un concreto con resistencia superior, más económico y amigable con el medio (AHINCO S. A., 2013).

Los aditivos de concreto son productos capaces de disolverse en el agua, adicionados durante el mezclado de concreto con el fin de modificar el comportamiento del concreto en estado fresco o en condiciones de trabajo (endurecido). Actualmente los aditivos permiten la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales y se consideran como un nuevo ingrediente para la producción del concreto.

Los aditivos pueden clasificarse de dos maneras, principalmente, de acuerdo a ASOCEM y a la ASTM C494/C494M-08a, las cuales se mencionan a continuación: La Asociación de Productores de Cemento (ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CEMENTO. ASOCEM) clasifica los aditivos según la función que desempeñan en el concreto, en estado fresco o endurecido.

- En estado fresco el uso de aditivos permite:
 - Incrementar la trabajabilidad sin aumento de agua o reducir el contenido de agua con similar trabajabilidad.
 - Retardar o acelerar el fraguado.
 - Modificar el asentamiento.
 - Disminuir la exudación.
 - Reducir la segregación.
 - Mejorar la actitud al bombeo.
- En el concreto endurecido:
 - Acelerar la ganancia de resistencia temprana.
 - Incrementar la resistencia.

- Mejorar la durabilidad frente a exposición severa.
- Disminuir la permeabilidad.
- Producir expansión o controlar la contracción.
- Incrementar la adherencia con las barras de acero de refuerzo.
- Impedir la corrosión de las barras de refuerzo.
- Controlar la reacción álcali-agregado.

Los aditivos que son normalizados por ASTM C494/C494M-08a Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto, se clasifican de la siguiente manera:

- TIPO A, ADITIVO ACELERADOR: es un aditivo que acelera el fraguado de la mezcla y la resistencia inicial del hormigón.
- TIPO B, ADITIVO RETARDADOR: permite retardar el fraguado de la mezcla.
- TIPO C, ADITIVO REDUCTOR DE AGUA: para una consistencia predefinida, el aditivo permite reducir la cantidad de agua necesaria (AHINCO S. A., 2013).
- TIPO D, ADITIVO REDUCTOR DE AGUA Y ACELERADOR: cumple ambas funciones.
- TIPO E, ADITIVO REDUCTOR DE AGUA Y RETARDADOR: cumple ambas funciones.
- TIPO F, ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO: reduce la cantidad de agua aún más que un reductor común.
- TIPO G, ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDADOR: cumple ambas funciones.
- TIPO S, ADITIVO DE COMPORTAMIENTO ESPECÍFICO.

NOTA: se hace una breve descripción de la función que cumple cada aditivo, pero solo los nombres son obtenidos de la fuente (ASTM INTERNACIONAL).

Estos tipos de aditivos son empleados para cumplir con las especificaciones solicitadas por el cliente y para suplir las deficiencias de los materiales disponibles o mejorar sus propiedades incurriendo en el menor costo posible, esto se logra mediante el diseño de diferentes mezclas y mediante la evaluación de la opción más favorable económica y técnicamente.

Los primeros aditivos producidos permiten reducir la cantidad de agua en la mezcla de concreto, mientras que los nuevos, o relativamente nuevos, además de permitir la reducción de agua, son utilizados para resolver problemas como los tiempos de fraguado de las mezclas y manejabilidad.

Según la Conferencia inicial del Seminario "Aditivos y Adiciones en el Concreto" organizado por el Capítulo de Ingenieros Civiles, Asocem e Indecopi, es importante tener en cuenta los siguientes criterios para la selección del aditivo (ASOCIACION DE PRODUCTORES DE CEMENTO. ASOCEM

- 1. Establecer cuál es la característica principal del concreto que es modificada por el aditivo, cuáles son las características secundarias que son modificadas en menor medida y cuáles son los parámetros a controlar, por eventuales desarreglos que pudieran presentarse.*
- 2. Conocer el tipo de constituyente básico del aditivo para aprovechar la experiencia y las investigaciones existentes.*
- 3. De ser necesario recurrir al análisis de infrarrojo (que prescribe la norma para el control de homogeneidad) que permite identificar el producto.*
- 4. En los casos de aditivos reductores de agua, con función de acelerar o retardar el fraguado (especialmente en los del tipo de alto rango) conviene evaluar la compatibilidad del aditivo con el cemento utilizado, al efecto debe tenerse en cuenta que los cementos varían la composición de sus*

constituyentes mineralógicos, aluminato y el silicato tricálcicos y los álcalis solubles.

Las recomendaciones para seleccionar un aditivo son solo recomendaciones, pues la NSR-10 (Norma Sismo Resistente 2010) en el capítulo C.3.6 especifica las propiedades que deben cumplir los aditivos usados en las mezclas de concreto, además de los requisitos de durabilidad, control de uso de los mismos y otros aspectos mencionados en el Título C de la norma donde se destacan la NTC 1299 (ASTM C494M) y NTC 4023 (ASTM C1017M) para los aditivos reductores de agua y aquellos que modifiquen el tiempo de fraguado de la mezcla (UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA).

Estas recomendaciones para la selección del aditivo que se propone esta investigación no podrán cumplirse en un 100 % pues existe una limitación estadística importante y deberán verificarse los otros aspectos en caso de querer extrapolar los resultados para la producción en obra.

Igualmente, la Instrucción Española del Hormigón Estructural, en el artículo 29º - Generalidades por medio del documento “INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, DURABILIDAD” (UNIVERSIDAD DE CASTELA - LA MANCHA) considera que los aditivos no deben superar el 5 % del peso de material cementante en la mezcla y otros factores químicos que son importantes para diseñar mezclas de concreto con aditivos.

De esta manera, se debe resaltar que AHINCO S. A., que actualmente usa aditivos a base de naftalenos, cumple con todos los requerimientos técnicos asociados a la norma que rige sobre los materiales para la construcción. Los aditivos a base de NAFTALENOS (Tercera generación) en comparación con los usados por ARGOS a base de POLICARBOXILATOS (Sexta generación) tienen menor capacidad de reducción de agua. Tienen un atraso importante, pues la diferencia de las capacidades de reducción en la cantidad de agua es del orden del 10 % en promedio

(con NAFTA se logra un 15 % y con POLICARBOXILATOS se logra un 25 %, generalmente) y se logran optimizar otras propiedades que actúan para controlar y mejorar el comportamiento de la mezcla.

ARGOS ha logrado reducir los costos operacionales al incluir estos aditivos y ha recuperado un poco la brecha económica generada con AHINCO S. A. al incluir la ceniza volante en el proceso. De aquí, nace la necesidad de ampliar esta brecha nuevamente para que AHINCO S. A. sea más competitiva económicamente y logre abarcar una mayor porción del mercado que es dominado casi monopolícamente.

Industrias ULMEN S. A. define el nanosílice como un nanoaditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño nanométrico, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nano partículas de sílice en nano partículas de cemento. Este material es conocido como aditivo de séptima de generación, en consonancia con las clasificaciones anteriormente mencionadas, con cumple funciones de reductor de agua de alta actividad, posee un alto nivel de fluidificación y produce un incremento en la resistencia mecánica en edades muy tempranas, reduciendo la permeabilidad y la porosidad del hormigón lo que permite una mayor durabilidad del mismo. Es importante destacar que este aditivo no produce retrasos en el tiempo de fraguado, evita la segregación y la excesiva exudación, mejora el acabado y la textura superficial del hormigón y evita la formación de “hormigueros” o huecos en la mezcla endurecida por un fraguado deficiente (INDUSTRIAS ULMEN S. A., 2011).

Para entender la relación de los elementos que se estudian es necesario definirlos brevemente, lo cual se presenta a continuación:

- *Cemento Portland. Compuesto por arcillas y calizas, en una dosificación que permite que el agua y la Cal (CaO) reaccionen con los silicatos que contiene, generando una pasta endurecida. Los principales silicatos presentes en el cemento son el Silicato Tricálcico (C_3S), el cual aporta un aumento de resistencias en el fraguado inicial; el Silicato Dicálcico (C_2S), el cual otorga la*

resistencia a largo plazo y el Aluminato Dicálcico (C_2A) que otorga aumento de resistencia en edades tempranas. Lo que resulta de la reacción, a parte de otros compuestos, es el hidróxido de calcio o cal hidratada. (Universidad de Buenos Aires, 2013)

- *Ceniza volante: es un residuo sólido proveniente de la combustión del carbón, compuesto principalmente por óxido de Sílice, que reacciona con el hidróxido de calcio resultante de la reacción de los silicatos y aluminatos de calcio al momento de la hidratación del cemento, contribuyendo a incrementar la resistencia a la compresión del concreto, además de mejorar otras tatas características mencionadas en aparte anterior.*
- *Aditivo NANOFLUID: compuesto por nanopartículas de sílice suspendidas en un líquido a base de polieter utilizado por la empresa que lo suministra, APLIK S. A. (véase Anexo 1, Ficha técnica).*

Es durante la reacción de ambos elementos, cemento y ceniza, con el agua donde el aditivo juega un papel importante. Al implementar el aditivo se polarizan las partículas de cemento, lo que permite una mayor penetración del agua, un mayor efecto de relleno de la ceniza y la presencia de nanopartículas de sílice para cubrir los vacíos presentes. A continuación, en la Figura 1, se presenta un esquema del fenómeno planteado anteriormente.

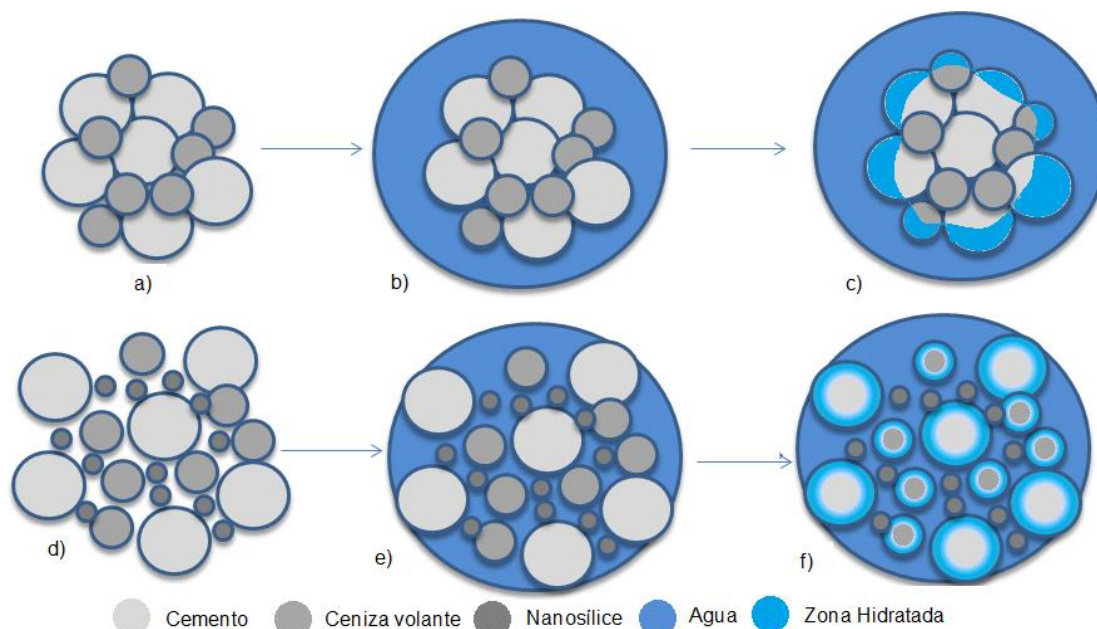


Figura 1. Esquema del efecto del aditivo en la mezcla. Fuente: propia.

Como puede observarse en la figura anterior, se presentan los siguientes casos:

- A. El cemento y la ceniza se encuentran aglomerados.
- B. El agua entra a la mezcla.
- C. Se hidratan las partículas de cemento y ceniza que están en contacto directo con el agua.
- D. El aditivo entra a la mezcla, polariza las partículas de cemento y ceniza llevando las cargas negativas al exterior de las mismas y causando que repelan, pero las partículas de nanosílice actúan como relleno.
- E. El agua entra a la mezcla.
- F. Debido a la polarización de las partículas cementantes hay una mayor hidratación de las mismas.

Teniendo en cuenta el caso F, se puede inferir que la cantidad de agua puede ser reducida, lo cual tiene como consecuencia la modificación de la relación agua/material cementante logrando un aumento de la resistencia. Como no se

pretende obtener un aumento de resistencia en el trabajo propuesto, se buscará mantener la relación mencionada disminuyendo la cantidad de material cementante en la mezcla, logrando una posible reducción de costos.

Basados en lo anterior y la reciente entrada del producto al mercado colombiano, se considera realizar el estudio de los efectos del mismo en el caso específico de la empresa AHINCO S. A.

CAPITULO 2

2 Diseño metodológico

2.1 Recolección de Información:

La recolección de información sobre los productos que pueden encontrarse en el mercado de aditivos actualmente, es necesaria para cumplir con el primer objetivo. Algunas empresas han contactado a AHINCO S. A. para ofrecer el producto, por lo que será necesario solicitar la ficha técnica del mismo y buscar otros distribuidores, especificando la necesidad de conocer los costos en altos y bajos volúmenes de compra.

2.2 Definición de dosificaciones y ensayos:

Las pruebas y ensayos de compresión axial son el factor crítico de esta investigación, pues se debe buscar una dosificación que ofrezca las propiedades esperadas del concreto (actividad que se realizará con el ingeniero encargado de la empresa) tratando de impactar el costo del producto terminado positivamente. La metodología se describe a continuación:

- Definir dosificaciones para concretos de 2.000 psi, 3.000 psi, 4.000 psi, 5.000 psi y 6.000 psi con ceniza volante, cemento Tipo 1 M, agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " y agregado fino, mediante un método analítico que se fundamente en los lineamientos para el diseño de mezclas de la NSR-10 y otro experimental que parte de las dosificaciones de mezcla que viene utilizando la empresa AHINCO S. A.

- Definir e implementar en la dosificación una cantidad de aditivo correspondiente a un porcentaje del peso del cemento. Este porcentaje ha sido definido por la empresa con base en la información encontrada en la literatura y los rangos de aplicación usados en el mercado (inferior al 5 % sobre el peso del cemento)
- Para el caso experimental, enviar los materiales y la dosificación final al laboratorio que se encargará de producir el concreto y hacer las pruebas.
- En el laboratorio se generarán 8 cilindros de cada resistencia con un determinado porcentaje de aditivo. Con cuatro porcentajes diferentes se esperarían 150 cilindros en total (5 resistencias x 5 porcentajes diferentes x 3 periodos para ensayar x 2 cilindros por periodo).
- Se esperarán resultados de ensayos a los 7, 28 y 56 días.
- Determinar, por medios analíticos, la dosificación óptima a los 28 días de edad. De esta manera, podrá obtenerse un dato comparativo entre lo que podría esperarse según el diseño de mezclas por la NSR-10 al aplicar estos aditivos en los concretos y, de alguna manera, corroborar la capacidad de los aditivos para reducir la cantidad de agua en la mezcla.

Se contará con un periodo extra en los ensayos de compresión axial, ya que puede ser necesario corregir las dosificaciones si se identifica un comportamiento anómalo en los resultados, pues es primera vez que la empresa experimenta con este aditivo. Los materiales que se controlarán son los siguientes:

- Ceniza volante. Tiene un valor constante (kg/m^3), sin importar la resistencia esperada. Suministrada por AHINCO S. A.
- Cemento. Varía según la resistencia. Suministrado por ARGOS, ver características en el Anexo 8.
- Material grueso. Varía según la resistencia. Suministrado por MINCIVIL S. A., cuarzodiorita de origen ígneo plutónico, ver características en el Anexo 8.

- Material fino. Varía según la resistencia. Suministrado por MINCIVIL S. A., cuarzodiorita de origen ígneo plutónico, ver características en el Anexo 8.
- Agua. Varía según la resistencia. Suministrada por EPM (Empresas Públicas de Medellín).
- Aditivo. En ambos métodos la cantidad de aditivo por metro cúbico se encuentra según los 4 porcentajes definidos sobre la cantidad de cemento. Suministrado por APLIKA S. A., ver características en Anexo 1.

2.3 Consolidación y Análisis de Resultados:

Al obtener los resultados se hará un análisis de los mismos y un análisis de costos de los concretos a producir. Será necesario analizar todas las muestras, pues los requerimientos de los concretos en obra, en cuanto a la resistencia del concreto, son diferentes y es oportuno contar con esta información. El costo se analizará según el precio unitario del cemento, la ceniza, el aditivo y el valor final por metro cúbico sin tener en cuenta los materiales pétreos finos y gruesos ni el agua, la preparación, el transporte u otros, ya que son variables según el proyecto al cual se destinen.

2.4 Presentación de Resultados:

Por último, se presentará al gerente de la empresa el detalle de los ensayos realizados y los resultados obtenidos y se aprovechará la oportunidad para determinar si la empresa considera que el trabajo realizado aporta al desarrollo y crecimiento de AHINCO S. A.

CAPITULO 3

3. Impacto económico del uso de aditivos a base de nanosílice en mezclas de concreto con cenizas volantes. Caso AHINCO S. A.

3.1. Aditivos a base de nanosílice

En el país pueden encontrarse varios distribuidores de este tipo de aditivos, aunque no son muchos. Como se trata de una nueva tecnología de aditivos, su presencia en el mercado nacional es reducida y aún más en el departamento de Antioquia.

AHINCO S. A. usa la ceniza volante con la calidad adecuada en cumplimiento de la normativa (NTC 3493), la cual no es un insumo común en las ciudades importantes del país o por lo menos en las que se han estudiado, lo que ha limitado el mercado en el cual puede actuar la empresa.

Los costos de transporte de la ceniza a otras ciudades no harían rentable el negocio, caso que no solo se presenta con dicho insumo. Varios distribuidores de los aditivos en cuestión han instalado sus sedes en Bogotá, lo que dificulta traer este tipo de productos, por los altos costos asociados al transporte, al Valle de Aburrá, salvo que hubiese iniciativas como la propuesta. Al contactar consultores como ARQCONSTRUCCIÓN (empresa Bogotana) se evidencia el problema de costos que se menciona. El costo directo de transporte representa un aumento directo en el costo de producción de concretos, el cual sólo podría ser compensado por muy altos volúmenes de producción, pues el transporte de líquidos, por lo general, es uno de los más costosos en el país. En este tipo de contactos puede notarse que las empresas procuran evitar hablar sobre el tema de precios de su producto puesto en Medellín por temor a ahuyentar una empresa importante como lo es AHINCO y

se limitan a ofrecer sus servicios de consultoría y acompañamiento continuo en investigaciones, pruebas y ejecución de proyectos.

Todo lo anterior, ha traído como consecuencia que se haya limitado el estudio al mercado departamental (Antioquia). El conocimiento de estos aditivos no es amplio y quienes lo reconocen, generalmente, son empresas que aseguran que tomará un tiempo importante la llegada de los mismos, o empresas como SPIN S. A., ingeniero químico Arnoldo Herrera, quien conoce el producto pero no la presencia del mismo en el mercado colombiano, reconociendo la importancia del uso de los mismos en la tecnología de los concretos.

El ingeniero mencionado es distribuidor de aditivos en polvo a base de silicatos de sodio, compuesto que es la materia prima para obtener la sílice, que a su vez, es el material principal para el aditivo a base de nanosílice. De esta manera, se ha logrado un contacto importante en cuanto relaciones comerciales, pues en el desarrollo de esta investigación se ha informado sobre el tema, invitado y motivado a este empresario de la región a investigar estos materiales con el fin de crear una cadena productiva que permita reducir costos y aumentar la participación de estos aditivos en la producción de concretos.

Se han contactado empresas como Sika, la cual vende un aditivo con base en nanosílice, que no actúa como reductor de agua o superplastificante, actúa simplemente como relleno de poros en el concreto con bajas reducciones de agua, es decir, su propósito no es el mismo. El mismo caso se presenta en la línea de productos de BASF (Aditivo MEYCO® MS 685) el cual es distribuido por CONSTRUSOL S. A.; La empresa TOXEMENT manifiesta que tiene conocimiento del producto por su uso en Europa, pero no distribuyen el aditivo.

Partiendo de lo anterior, sólo se ha identificado a la empresa APLIK S. A. como productor y distribuidor del aditivo. Su referencia es NANOFLUID AR y la ficha técnica se presenta en el Anexo 1.

De esta manera, sólo se considera la propuesta comercial del NANOFLUID AR (Anexo 1), el cual no sólo ofrece las propiedades de relleno de los otros productos para aumentar la durabilidad del concreto, la resistencia a los agentes agresores, disminuir la permeabilidad y mejorar el acabado, entre otros, sino también su capacidad reductora de agua y efecto superplastificante en la mezcla.

En la Tabla 1, se presenta el valor del aditivo según el volumen de consumo con un identificador que será usado posteriormente para representar el costo en función del volumen de compra.

Tabla 1. Precio del aditivo NANOFLUID AR

Identificador	Kilogramos pedidos	\$/kg + IVA
ID 1	1 - 1.000	\$ 9.744,00
ID 2	1.001 - 5.000	\$ 9.558,40
ID 3	5.001 - 10.000	\$ 9.210,40
ID 4	> 10.000	\$ 8.746,40

Es importante resaltar que estos precios se mantienen siempre y cuando el volumen correspondiente sea comprado en un periodo de un mes. Por lo tanto, el valor a considerar en cada proyecto varía, incluso en el transcurso del mismo. Como la variación del precio es de aproximadamente \$ 1.000 entre los extremos de volumen consumido, debe estudiarse la viabilidad del uso de este aditivo en cada proyecto según la programación de vaciados.

3.2. Determinación de la dosificación óptima

3.2.1. Determinación de las cantidades de material cementante.

En este apartado se pretende encontrar las cantidades de material cementante para determinar la dosificación óptima según el valor del material cementante y del aditivo.

Para el desarrollo de ambos análisis, analítico y experimental, se parte de los siguientes parámetros:

- El asentamiento de la mezcla debe estar en un rango de 14 – 16 cm. con el fin de obtener la manejabilidad esperada por AHINCO S. A. para poder bombear las mezclas.
- El contenido de ceniza en las mezclas de diferentes resistencias será constante, porque la empresa procura no incluir más variables en la investigación.
- La dosificación seleccionada para el ensayo experimental se presenta en la Tabla 2, producto de la experiencia de AHINCO S. A. en la producción de sus concretos. En esta puede notarse que el contenido de agua por m^3 de concreto no varía, pues esta variable finalmente deberá ser determinada en el laboratorio con el fin de cumplir con el asentamiento requerido.

Tabla 2. Dosificación base (Patrón)

Resistencia (MPa)	Materiales (kg/m ³)			
	Agua	Cementante	Agregado fino	Agregado grueso
14	185	290	822	1000
21	185	340	822	1000
28	185	420	752	1000
35	185	500	685	1000
42	185	580	619	1000

Se definen 5 casos de estudio que se mencionan a continuación:

- Patrón: se refiere a la muestra de referencia mencionada en la Tabla 2, la cual es fruto de la experiencia de AHINCO S. A. en la producción de concretos.
- Caso 1 (a %) en este caso se implementa en la mezcla un porcentaje “a” de aditivo sobre el peso del material cemento.

- Caso 2 (b %) en este caso se implementa en la mezcla un porcentaje “b” de aditivo sobre el peso del material cemento.
- Caso 3 (c %) en este caso se implementa en la mezcla un porcentaje “c” de aditivo sobre el peso del material cemento.
- Caso 4 (d %) en este caso se implementa en la mezcla un porcentaje “d” de aditivo sobre el peso del material cemento.

Debe entenderse que $a \% < b \% < c \% < d \%$ y en ningún momento se supera la cantidad de aditivo recomendada por la Instrucción de Hormigón Estructural (Ministerio de Fomento, 2011) correspondiente al 5 % del peso del cemento por metro cúbico.

3.2.1.1. Método analítico

La NSR-10, Título C, incluye una corrección para la resistencia promedio requerida para el diseño de concretos cuando no se tienen datos experimentales que permitan encontrar una desviación estándar que servirá como factor de seguridad para el diseño.

Por lo anterior, se considerará un f'_{cr} con el aumento mencionado. Se presentan los resultados en la Tabla 3.

Tabla 3. f'_{cr} (f'_c de diseño)

f'_c (MPa)	Corrección	f'_{cr} (MPa)	f'_{cr} (kgf/cm ²)
14	f'_c+7	21	210
21	$f'_c+8,3$	29,3	293
28	$f'_c+8,3$	36,3	363
35	$f'_c+8,3$	43,3	433
42	$1,1*f'_c+5$	51,2	512

Las tablas presentadas en el Anexo 2 deben tomarse en cuenta para el diseño de mezclas de concreto según la NSR-10. De aquí se obtiene la siguiente información:

- La cantidad de agua en la mezcla se obtiene según el asentamiento esperado y el tamaño del agregado grueso, 14 – 16 cm. y $\frac{3}{4}$ " respectivamente. Se considerará, entonces, una cantidad de agua de 210 litros/m³.
- Según el f'_{cr} definido en la Tabla 3 se obtiene la relación agua/cemento. Debe tenerse en cuenta que para determinarla se interpola entre los datos presentados en el Anexo 2 para la obtención de la misma.
- En el caso del $f'_{cr} > 45$ MPa, se conforma la gráfica para la determinación de la relación a/c presentada en el Anexo 2. De aquí, se obtiene la línea de tendencia que mejor se ajuste a las recomendaciones de la NSR-10 y la NTC 5551.

La relación a/c se presenta en la Tabla 4, a continuación:

Tabla 4. Relación agua/cemento

f'_{cr}	a/c
21,0	0,65*
29,3	0,55
36,3	0,47
43,3	0,40
51,2	0,34

*El valor obtenido con el gráfico es de 0,68 pero ha sido corregido para cumplir con la norma NTC 5551.

Con esta información, se logrará encontrar la cantidad de material cementante que debe contener la mezcla bajo las siguientes suposiciones y consideraciones:

- El porcentaje de reducción de agua que logra el aditivo es del 15 % (caso 1 con a % de aditivo), 20 % (caso 2 con b % de aditivo), 25 % (caso 3 con c % de aditivo) y 30 % (caso 4 con d % de aditivo), el cual ha sido definido con AHINCO S. A., basado en la información suministrada por la empresa que

distribuye el aditivo en las conversaciones y reuniones que se han llevado a cabo.

- Se calcula la cantidad de material cementante de acuerdo a las relaciones agua/cemento y la reducción supuesta en la viñeta anterior.
- Por último, la empresa ha basado sus diseños cumpliendo con las normas ICONTEC y este caso no será una excepción. Según el informe 5551 de la NTC sobre la durabilidad de los concretos (Norma Técnica Colombiana, 2007), se establecen unos valores máximos para la relación a/c y unas cantidades mínimas para la cantidad de material cementante en un (1) m³ de concreto. Estos valores dependen de la clase de exposición del elemento y si el mismo es reforzado, si no lo es, o si es preesforzado (Anexo 2).
-

De esta manera, se concluye que se diseñará según la primera clase de exposición (“Ningún riesgo a corrosión o ataque”), una relación a/c $\leq 0,65$ y una cantidad de material cementante $\Rightarrow 250 \text{ kg/m}^3$ (concretos reforzados). En caso de no cumplirse con la cantidad de material cementante mencionada, se ajustará en la proporción que sea necesaria.

a) Caso 1: a % de aditivo con reducción de agua del 15 %.

En la Tabla 5 se presentan las cantidades obtenidas con una reducción en la cantidad de agua por m³ de concreto igual al 15 %.

Tabla 5. Cantidades de material cementante (caso 1)

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	a/c	Litros/m ³ (NSR-10)	Agua reducida (Litros)	Cementante (kg/m ³)	Ajuste material cementante	Reducción de material cementante	% de reducción
14	21	0,65	210	178,5	275	0,0	15,4	5%
21	29,3	0,55	210	178,5	323	0,0	16,7	5%
28	36,3	0,47	210	178,5	380	0,0	40,1	10%
35	43,3	0,40	210	178,5	444	0,0	56,1	11%
42	51,2	0,34	210	178,5	528	0,0	51,6	9%

Se puede observar que en este caso se logra, en promedio, una reducción del material cementante del 8 %.

b) Caso 2: b % de aditivo con reducción de agua del 35 %.

En la Tabla 6 se presentan las cantidades obtenidas para concretos con una reducción de agua del 35 %.

Tabla 6. Cantidades de material cementante (caso 2)

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	a/c	Litros/m ³ (NSR-10)	Agua reducida	Cementante (kg/m ³)	Ajuste material cementante	Reducción de material cementante	% de reducción
14	21	0,65	210	168	258	0,0	31,5	11%
21	29,3	0,55	210	168	304	0,0	35,7	11%
28	36,3	0,47	210	168	358	0,0	62,4	15%
35	43,3	0,40	210	168	418	0,0	82,2	16%
42	51,2	0,34	210	168	497	0,0	82,6	14%

Se puede observar que para este caso se obtiene una reducción promedio del material cementante del 13 %.

c) Caso 3: c % de aditivo con reducción de agua del 25 %.

En la siguiente tabla se presentan las cantidades obtenidas para concretos con una reducción de agua del 25 %.

Tabla 7. Cantidades de material cementante (caso 3)

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	a/c	Litros/m ³ (NSR-10)	Agua reducida	Cementante (kg/m ³)	Ajuste material cementante	Reducción de material cementante	% de reducción
14	21	0,65	210	157,5	242	7,7	40,0	14%
21	29,3	0,55	210	157,5	285	0,0	54,7	16%
28	36,3	0,47	210	157,5	335	0,0	84,8	20%
35	43,3	0,40	210	157,5	392	0,0	108,3	22%
42	51,2	0,34	210	157,5	466	0,0	113,7	20%

Como puede observarse en la Tabla 7, para este caso se obtiene una reducción promedio en la cantidad de material cementante del 18 %.

d) Caso 4: d % de aditivo con reducción de agua del 30 %.

En la siguiente tabla se presentan las cantidades obtenidas para concretos con una reducción de agua, por m³, del 30 %.

Tabla 8. Cantidades de material cementante (caso 4)

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	a/c	Litros/m ³ (NSR-10)	Agua reducida	Cementante (kg/m ³)	Ajuste material cementante	Reducción de material cementante	% de reducción
14	21	0,65	210	147	226	23,8	40,0	14%
21	29,3	0,55	210	147	266	0,0	73,8	22%
28	36,3	0,47	210	147	313	0,0	107,1	26%
35	43,3	0,40	210	147	366	0,0	134,5	27%
42	51,2	0,34	210	147	435	0,0	144,8	25%

En la Tabla 8 puede observarse que se obtiene una reducción promedio en la cantidad de material cementante del 23 %.

En la Figura 2 se puede ver el resultado gráfico de las reducciones logradas en la cantidad de material cementante, teniendo en cuenta la muestra Patrón (Tabla 2) como base.

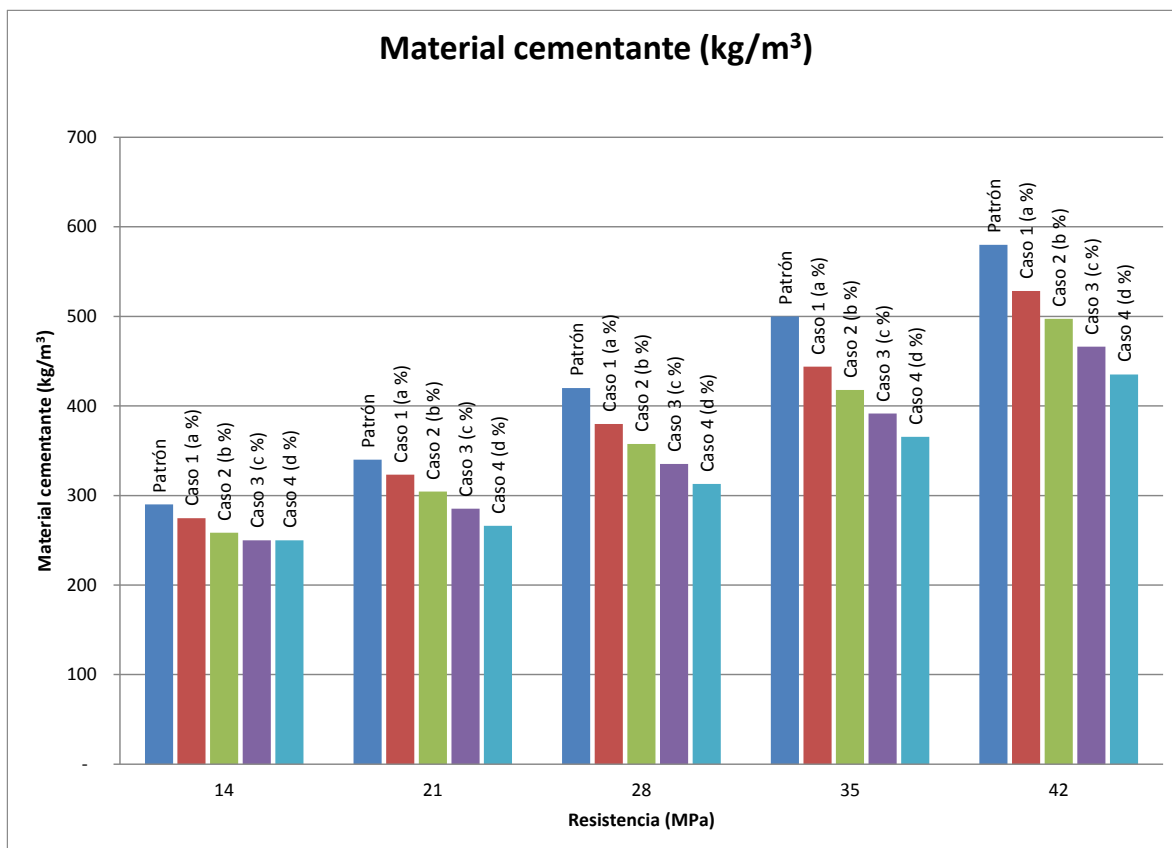


Figura 2. Cantidad de material cementante de los casos analizados por el método analítico.

3.2.1.2. Método experimental

El análisis contempla los 5 casos mencionados anteriormente para comparar las cantidades de material cementante y los costos asociados. Como se mencionó en aparte anterior, el análisis se realiza partiendo de las dosificaciones utilizadas por AHINCO S. A. en la utilización de sus concretos.

Se obtienen los resultados de los ensayos a compresión axial y se generan las líneas de tendencia. En este caso, se selecciona una línea polinómica de orden 3 y se presenta el valor R^2 (coeficiente de determinación) que permitirá establecer que tan bien describe el modelo (línea de tendencia) el comportamiento de las variables.

Los gráficos obtenidos para 7, 28 y 56 días se presentan a continuación en las Figura 3, Figura 4 y Figura 5.

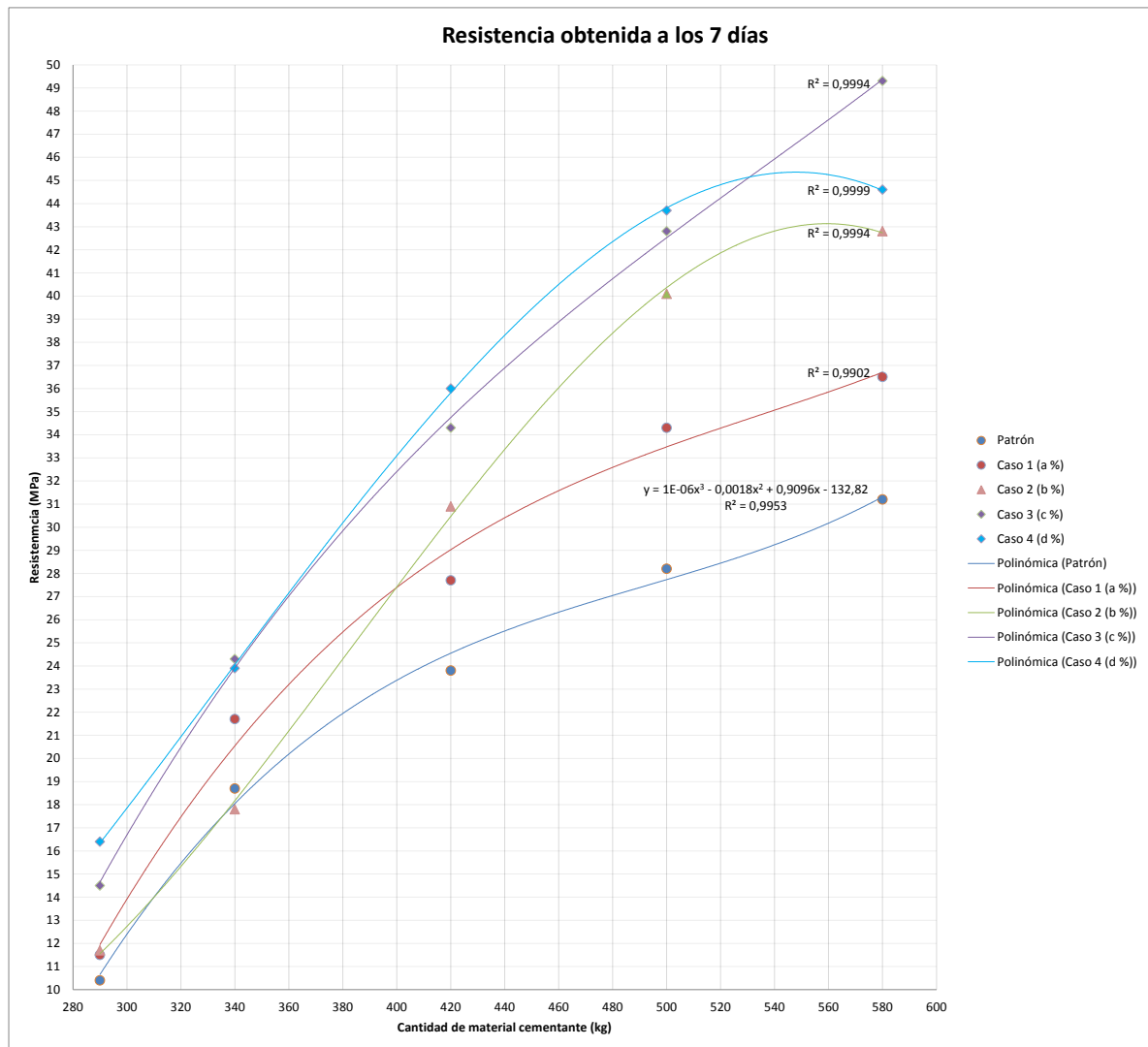


Figura 3. Resistencia obtenida a los 7 días en función del material cementante por metro cúbico

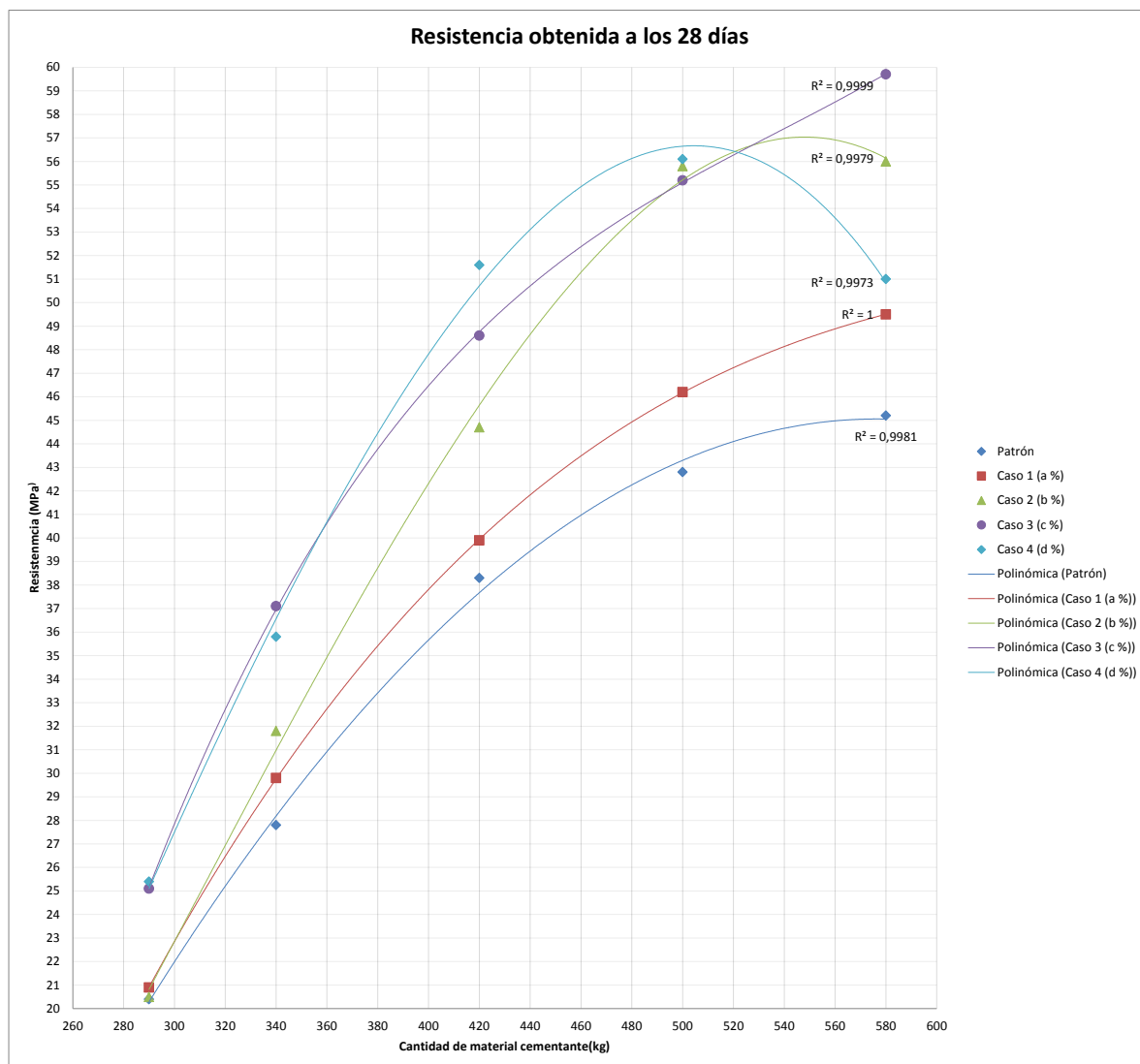


Figura 4. Resistencia obtenida a los 28 días en función del material cementante por metro cúbico

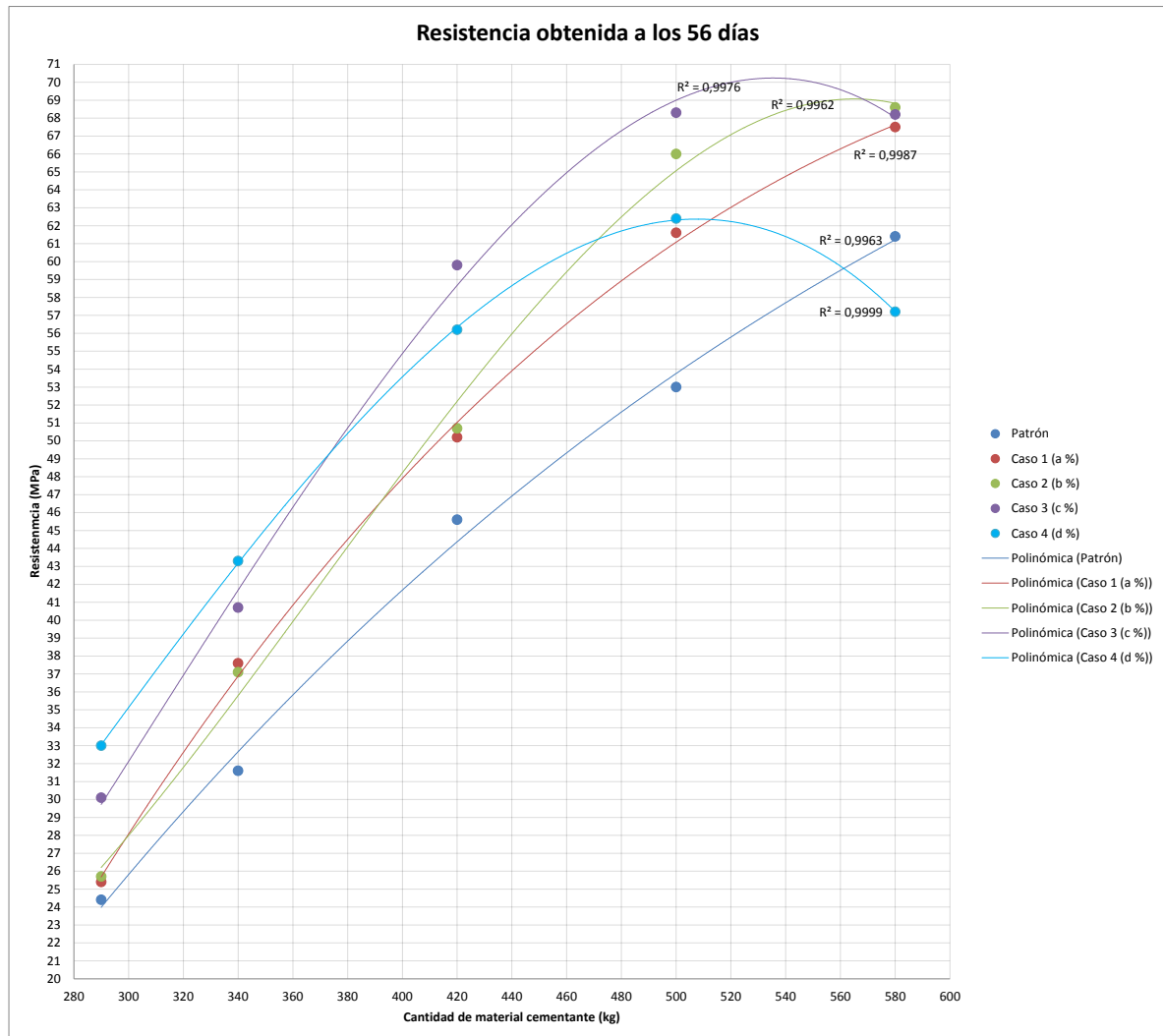


Figura 5. Resistencia obtenida a los 56 días en función del material cementante por metro cúbico

En todos los casos (Figura 3, Figura 4 y Figura 5) se puede identificar un valor R^2 (coeficiente de determinación) muy cercano a uno. Esto permite concluir que el

modelo (línea de tendencia polinómica de orden 3) representa de manera muy adecuada el comportamiento de las variables.

Lo anterior, es razón válida para suponer que la corrección para obtener el f'_c de diseño (f'_{cr}) mencionada en la Tabla 3 puede reducirse, logrando una disminución aún mayor de la cantidad de material cementante. De considerarse válido lo anterior debe hacerse una verificación que permita obtener datos estadísticos más confiables.

Se quiere hacer notar que se consideró importante analizar las resistencias para cada una de las mezclas a los 7, 28 y 56 días, porque podría ser útil la información en el momento en que se requiera obtener altas resistencias en edades tempranas o tardías, en caso que un proyecto determinado lo exija.

Por otro lado, en la información obtenida se ha identificado un comportamiento atípico, en comparación con las otras mezclas, del caso 4 (d % de aditivo) con 580 kg/m³ de material cementante a los 28 y 56 días, pues hay una disminución considerable en la resistencia. Este valor fue obtenido después de identificar el mismo comportamiento al repetir el ensayo, que continuó presentando el mismo fenómeno. Es razón suficiente, entonces, para no considerar esta dosificación para la producción de concreto sin haber verificado este comportamiento el cual puede ser causado por exceso de aditivo en la mezcla.

A partir de los gráficos anteriores y teniendo en cuenta el f'_{cr} (Tabla 3) se puede obtener la reducción en la cantidad de material cementante ingresando a el gráfico con la resistencia deseada.

Los valores de la abscisa en las Figuras 3, 4 y 5 representan la resistencia esperada, pero los valores de la ordenada se calculan con la resistencia de diseño (f'_{cr} presentado en la Tabla 3), de la siguiente manera:

- Resistencia en la abscisa igual a 14 MPa: se calcula la cantidad de material cementante con una resistencia de diseño de 21 MPa.

- Resistencia en la abscisa igual a 21 MPa: se calcula la cantidad de material cementante con una resistencia de diseño de 29,3 MPa.
- Resistencia en la abscisa igual a 28 MPa: se calcula la cantidad de material cementante con una resistencia de diseño de 36,3 MPa.
- Resistencia en la abscisa igual a 35 MPa: se calcula la cantidad de material cementante con una resistencia de diseño de 43,3 MPa.
- Resistencia en la abscisa igual a 42 MPa: se calcula la cantidad de material cementante con una resistencia de diseño de 51,2 MPa.

Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 6, 7 y 8 que se muestran a continuación:

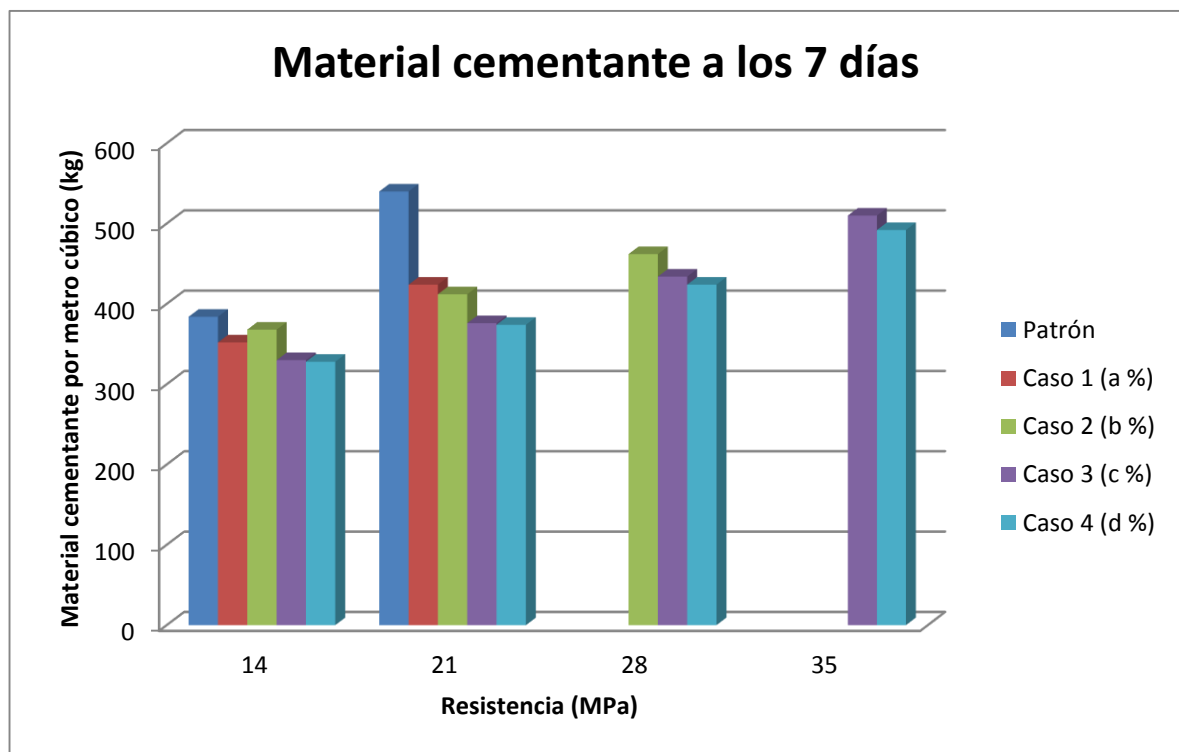


Figura 6. Material cementante por metro cúbico en función de la resistencia a 7 días

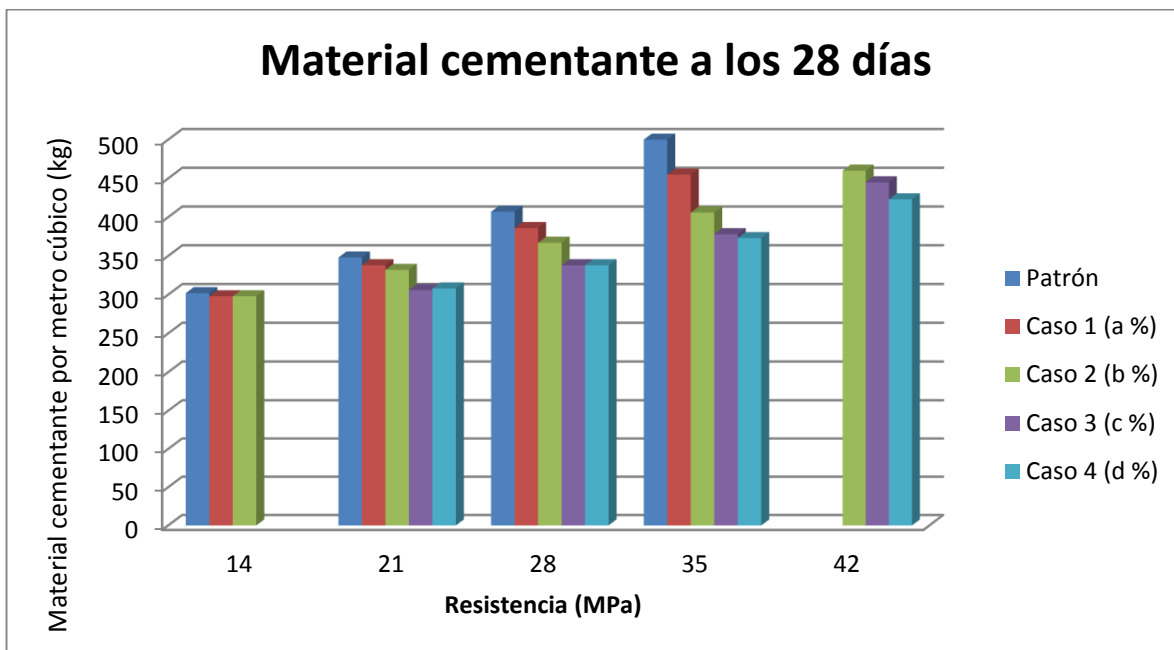


Figura 7. Material cementante por metro cúbico en función de la resistencia a 28 días

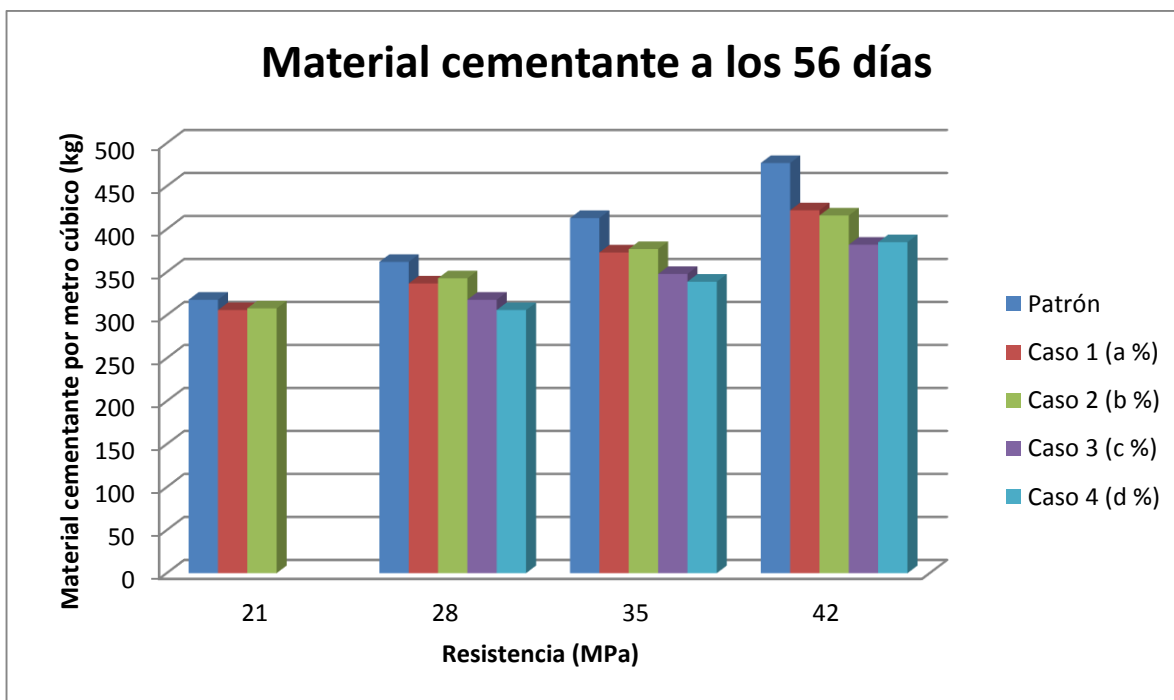


Figura 8. Material cementante por metro cúbico en función de la resistencia a 56 días

En todos los casos y a diferentes edades se logra identificar una reducción del material cementante por metro cúbico de concreto.

Sin embargo, se dará una breve explicación para el entendimiento de las figuras con los siguientes ejemplos:

- Para la muestra Patrón de 28 MPa, en la Figura 6, no se presenta una cantidad de material cementante por metro cúbico, indica que la muestra no logra alcanzar la resistencia allí mencionada para la edad en cuestión. Igualmente, esta interpretación debe tenerse en cuenta para los casos 1 y 2 en la misma edad y con la muestra Patrón y el caso 1 de 42 MPa a los 28 días.
- En la Figura 6 se presentan resistencias de 14, 21, 28 y 35 MPa. La no presencia de la resistencia igual a 42 MPa indica que ninguna de las muestra alcanzó la misma a los 7 días de edad.
- En la Figura 7 se puede observar que los valores de material cementante por metro cúbico de los casos 3 y 4 en una resistencia de 14 MPa no se presentan. Lo anterior indica que en estos dos casos se sobrepasa la resistencia mencionada y se rechazan los casos porque esto implicaría usar más material cementante de lo que realmente se necesita. De igual manera, se presenta en todas las muestras de 14 MPa a los 56 días y los casos 3 y 4 de 21 MPa en la misma edad.

3.2.2. Dosificación óptima

El criterio de selección de la dosificación óptima será el costo asociado al cemento, la ceniza y el aditivo, según las cantidades encontradas anteriormente. Debe aclararse que la dosificación óptima también depende del volumen de demanda del aditivo, por lo que

3.2.2.1. Método analítico

A continuación, en las Figuras 9, 10, 11 y 12, se presenta el análisis de costos para altos y bajos volúmenes de producción, teniendo en cuenta la dosificación de referencia (Tabla 2) como el identificador “Patrón” y los otros identificadores mencionados en la Tabla 1. Adicionalmente, se presentan las memorias de cálculo en el Anexo 3.

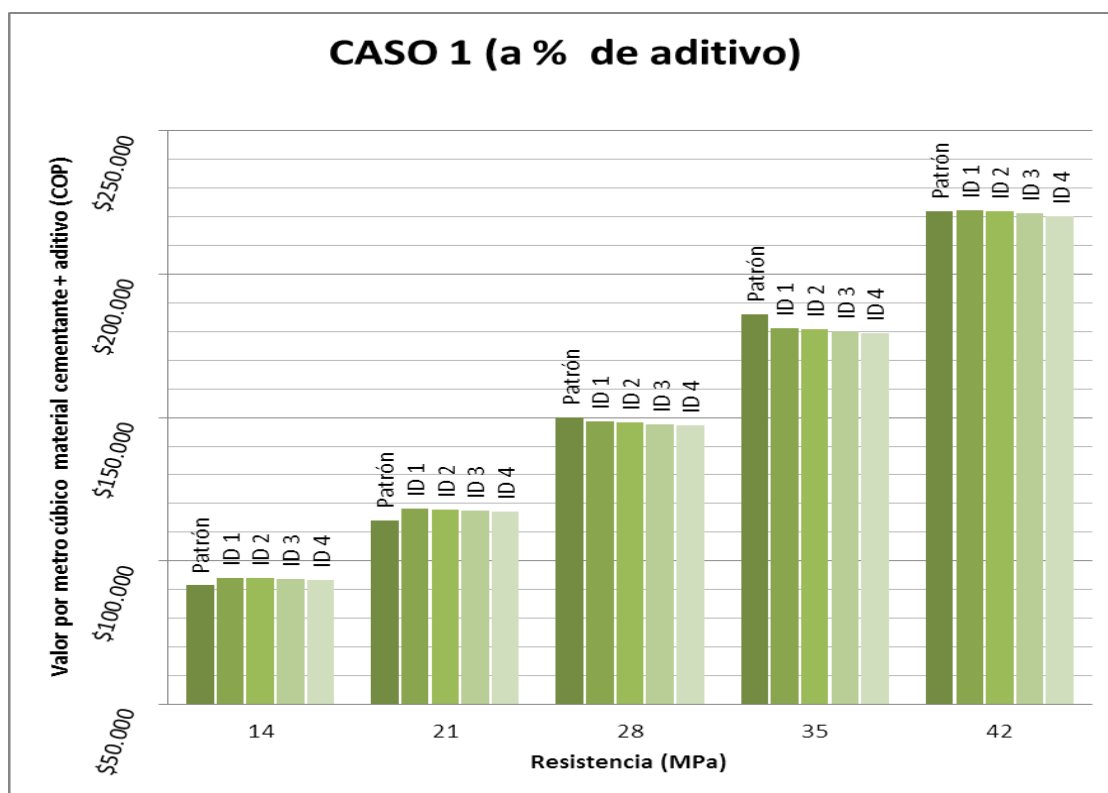


Figura 9. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 1 (a % de aditivo). Método analítico.

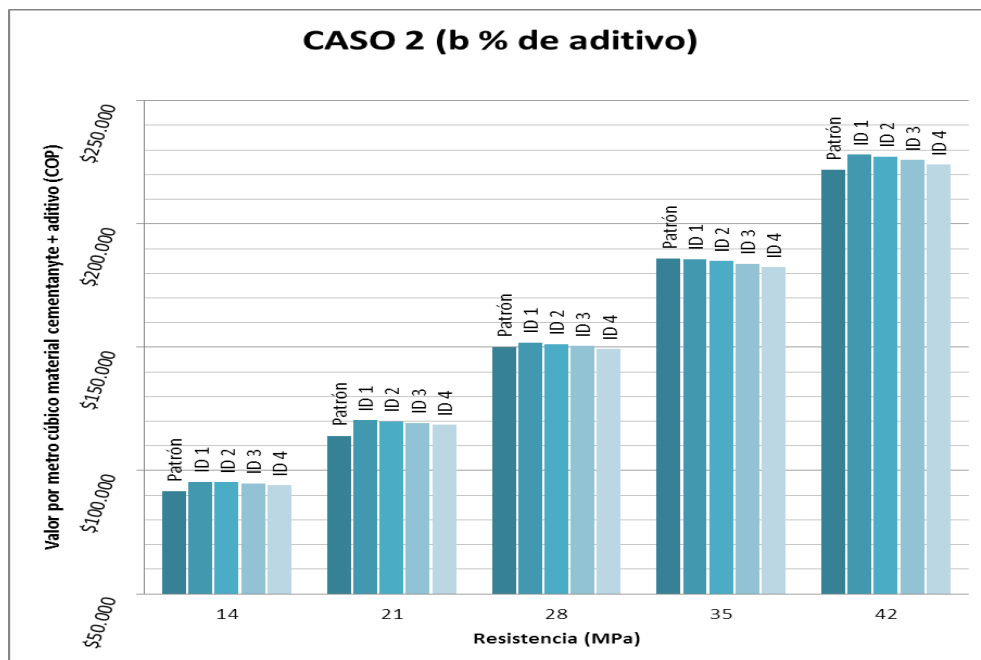


Figura 10. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 2 (b % de aditivo). Método analítico.

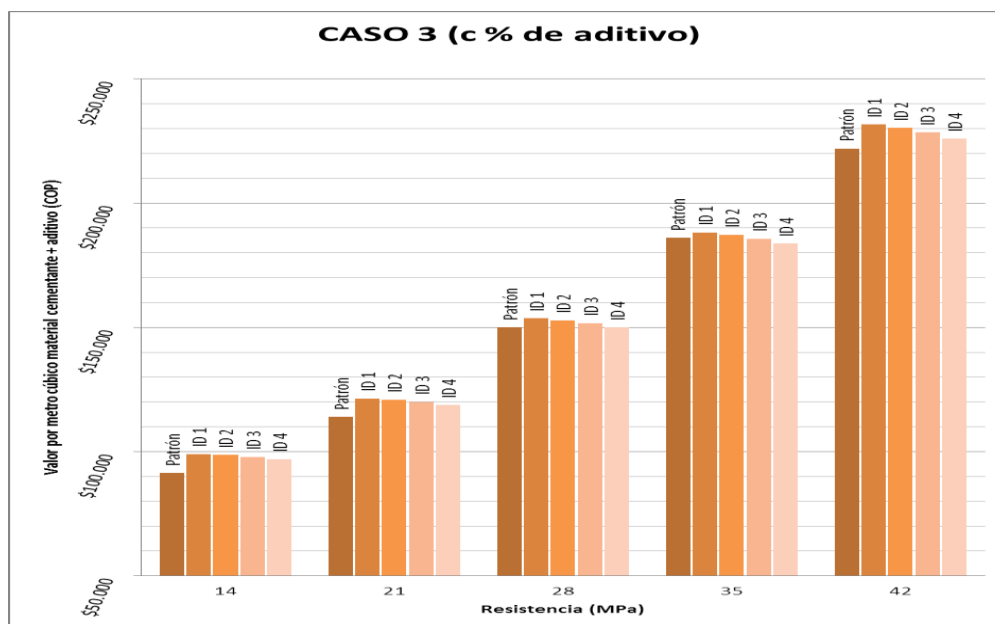


Figura 11. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 3 (c % de aditivo). Método analítico.

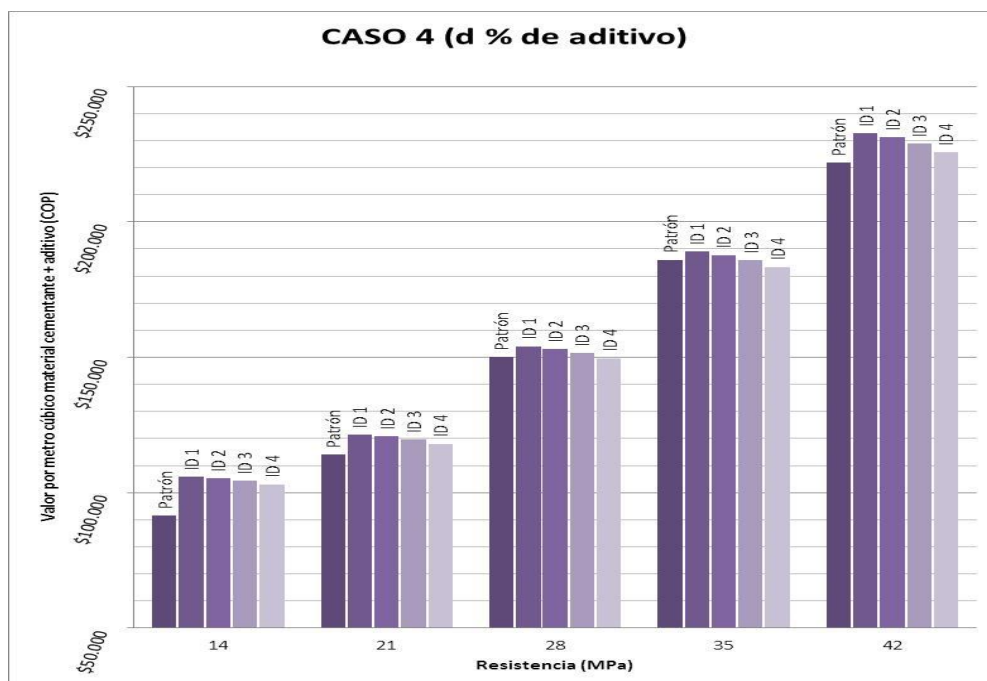


Figura 12. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico para el Caso 4 (d % de aditivo). Método analítico.

Teniendo en cuenta que el diseño de mezclas por medio de la NSR-10 considera que se alcanza la resistencia deseada a una edad de 28 días, se presentan en la Tabla 9 las dosificaciones óptimas encontradas por el método analítico.

Tabla 9. Dosificación óptima a 28 días según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento. Método analítico.

Resistencia (MPa)	Volumen de compra (kg/mes)			
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000
14	Patrón - 290 kg/m ³	Patrón - 290 kg/m ³	Patrón - 290 kg/m ³	Patrón - 290 kg/m ³
21	Patrón - 340 kg/m ³	Patrón - 340 kg/m ³	Patrón - 340 kg/m ³	Patrón - 340 kg/m ³
28	Caso 1 (a %) - 380 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 380 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 380 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 380 kg/m ³
35	Caso 1 (a %) - 444 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 444 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 444 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 444 kg/m ³
42	Patrón - 580 kg/m ³	Patrón - 580 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 528 kg/m ³	Caso 1 (a %) - 528 kg/m ³

3.2.2.2. Método experimental

Para las edades establecidas, considerando las cantidades de material cementante obtenidas y presentadas en las Figuras 6, 7 y 8, se calcula el costo del material cementante más el aditivo.

- 7 días: En las Figuras 13, 14, 15 y 16 se presentan los costos obtenidos para cada uno de los casos a una edad de 7 días en función del material cementante y el aditivo.

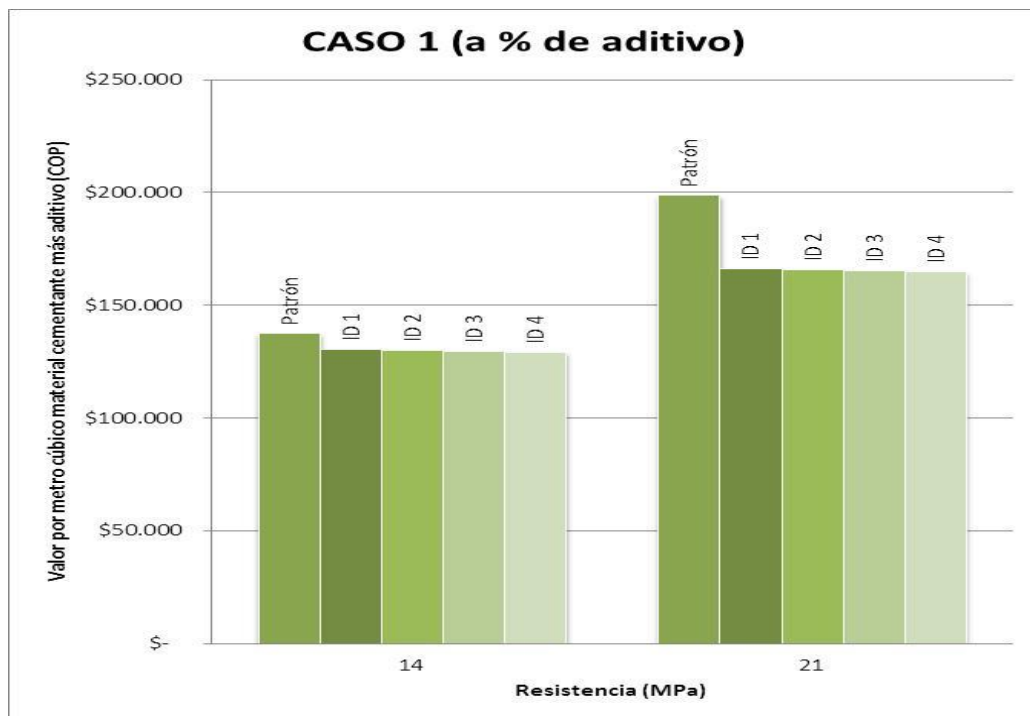
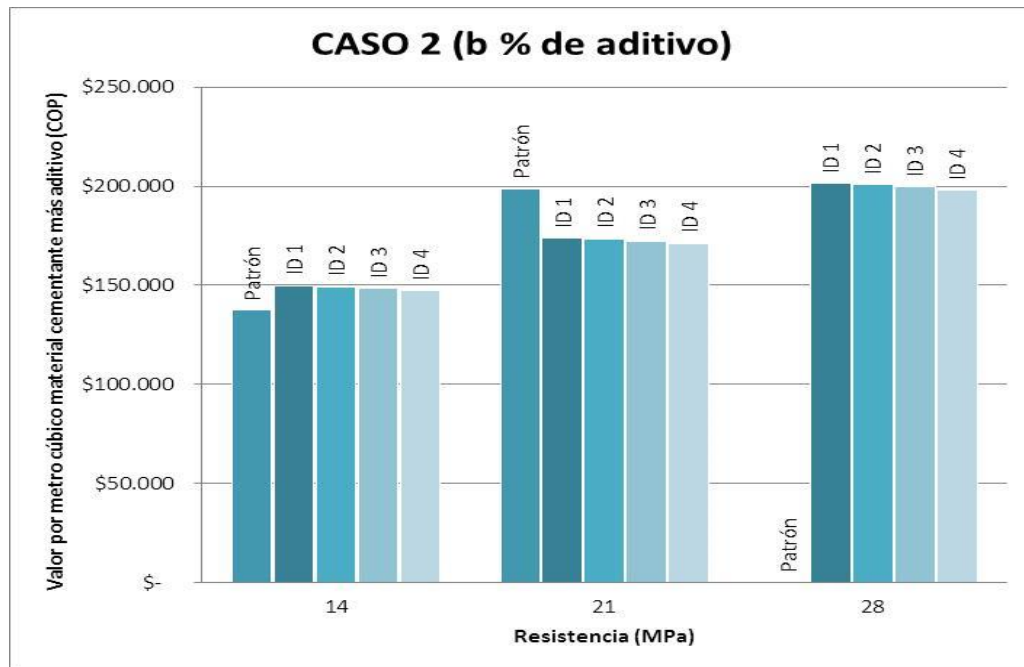
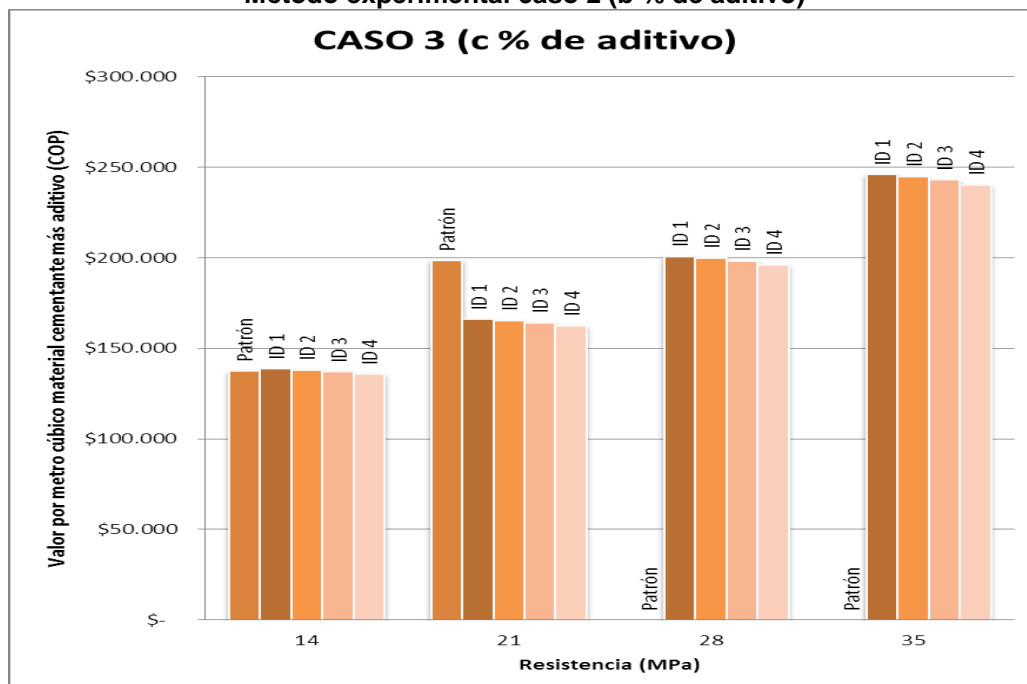


Figura 13. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad. Método experimental caso 1 (a % de aditivo)



**Figura 14. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad.
Método experimental caso 2 (b % de aditivo)**



**Figura 15. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad.
Método experimental caso 3 (c % de aditivo)**

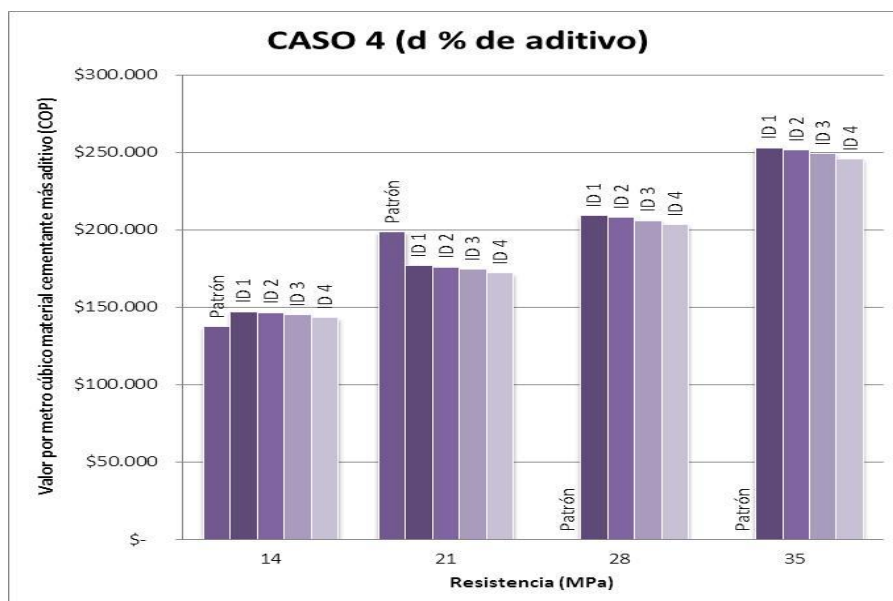


Figura 16. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 7 días de edad. Método experimental caso 4 (d % de aditivo)

A partir de las Figuras 13, 14, 15 y 16, se determina la dosificación óptima para cada una de las resistencias esperadas y se presenta a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Dosificación óptima según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento a los 7 días de edad. Método experimental.

Resistencia (MPa)	Resistencias a los 7 días			
	Volumen de compra (kg/mes)			
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000
14	Caso 1 (a %) - 352 kg/m3	Caso 1 (a %) - 352 kg/m3	Caso 1 (a %) - 352 kg/m3	Caso 1 (a %) - 352 kg/m3
21	Caso 1 (a %) - 424 kg/m3	Caso 3 (c %) - 376kg/m3	Caso 3 (c %) - 376kg/m3	Caso 3 (c %) - 376kg/m3
28	Caso 3 (c %) - 434 kg/m3	Caso 3 (c %) - 434 kg/m3	Caso 3 (c %) - 434 kg/m3	Caso 3 (c %) - 434 kg/m3
35	Caso 3 (c %) - 510 kg/m3	Caso 3 (c %) - 510 kg/m3	Caso 3 (c %) - 510 kg/m3	Caso 3 (c %) - 510 kg/m3
42	N/A	N/A	N/A	N/A

- 28 días: En las Figuras 17, 18, 19 y 20 se presentan los costos obtenidos para cada uno de los casos a una edad de 28 días en función del material cementante y el aditivo.

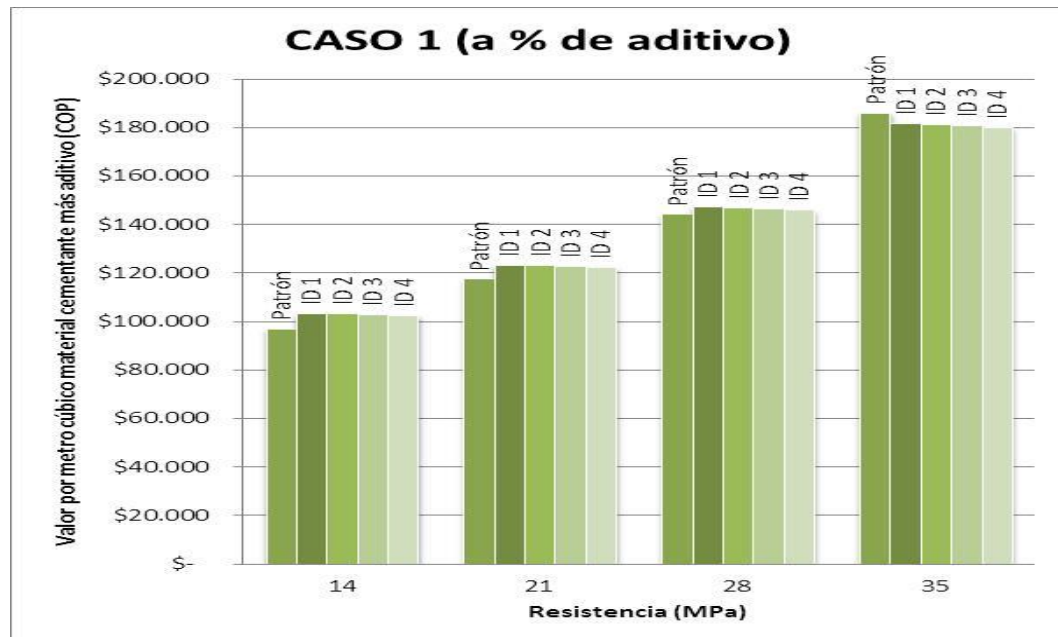


Figura 17. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 1 (a % de aditivo)

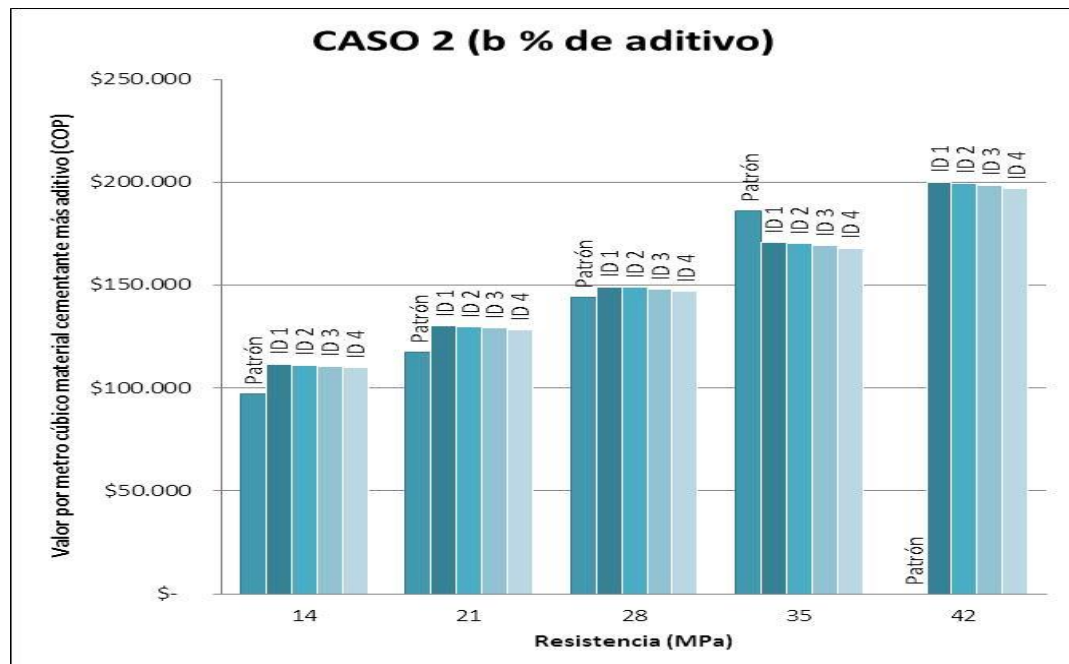


Figura 18. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 2 (b % de aditivo)

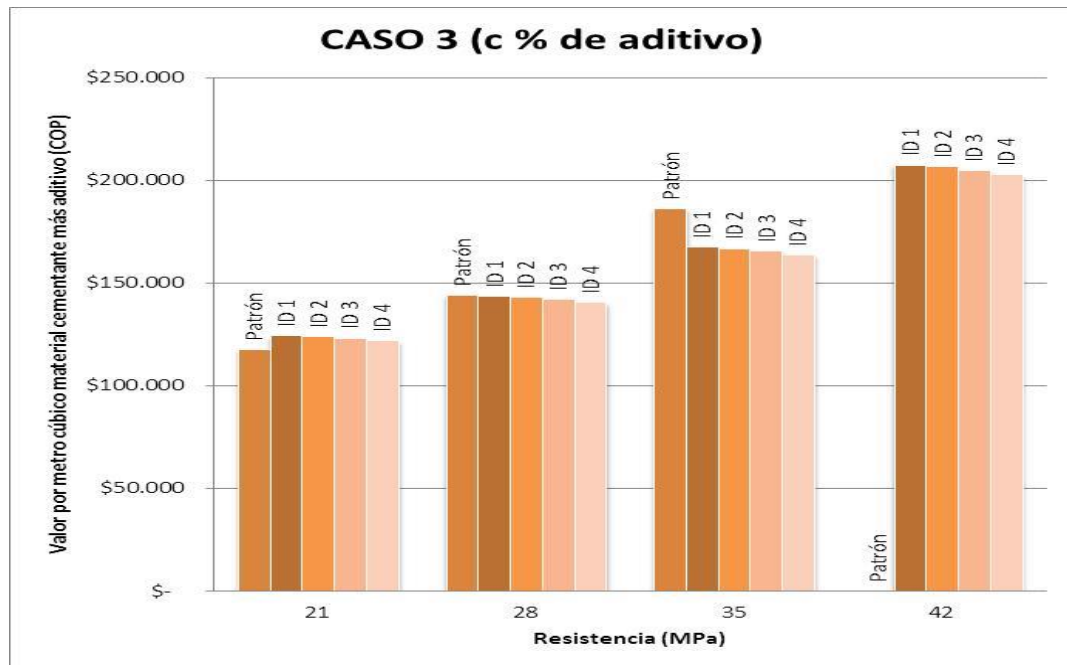


Figura 19. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 3 (c % de aditivo)

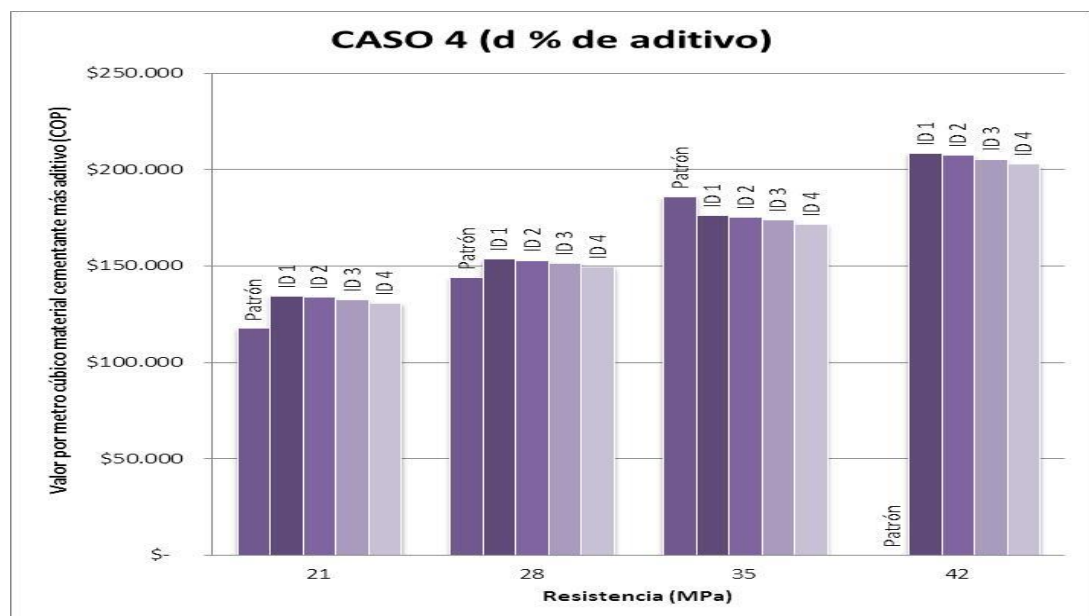


Figura 20. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 28 días de edad. Método experimental caso 4 (d % de aditivo)

A partir de las Figuras 17, 18, 19 y 20 se determinan las dosificaciones óptimas para cada una de las resistencias esperadas y se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Dosificación óptima según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento a los 28 días de edad.

Método experimental

Resistencias a los 28 días				
Resistencia (MPa)	Volumen de compra (kg/mes)			
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000
14	Patrón - 302 kg/m ³	Patrón - 302 kg/m ³	Patrón - 302 kg/m ³	Patrón - 302 kg/m ³
21	Patrón - 348 kg/m ³	Patrón - 348 kg/m ³	Patrón - 348 kg/m ³	Patrón - 348 kg/m ³
28	Caso 3 (c %) - 338 kg/m ³	Caso 3 (c %) - 338 kg/m ³	Caso 3 (c %) - 338 kg/m ³	Caso 3 (c %) - 338 kg/m ³
35	Caso 3 (c %) - 378 kg/m ³	Caso 3 (c %) - 378 kg/m ³	Caso 3 (c %) - 378 kg/m ³	Caso 3 (c %) - 378 kg/m ³
42	Caso 2 (b %) - 460 kg/m ³	Caso 2 (b %) - 460 kg/m ³	Caso 2 (b %) - 460 kg/m ³	Caso 2 (b %) - 460 kg/m ³

- 56 días: En las Figuras 21, 22, 23 y 24 se presentan los costos obtenidos para cada uno de los casos a una edad de 56 días en función del material cementante y el aditivo.

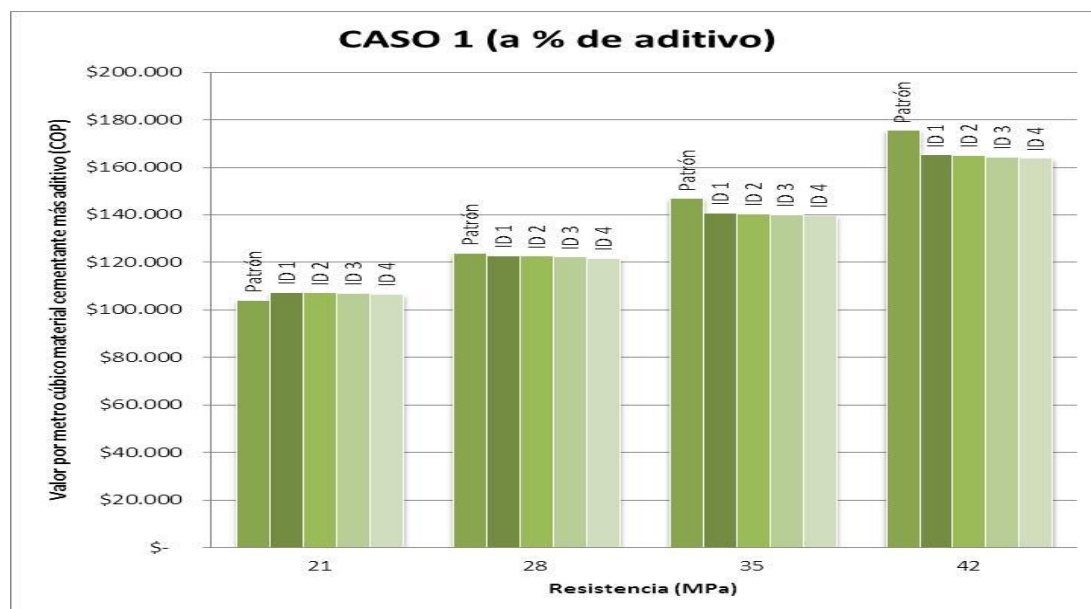


Figura 21. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 1 (a % de aditivo).

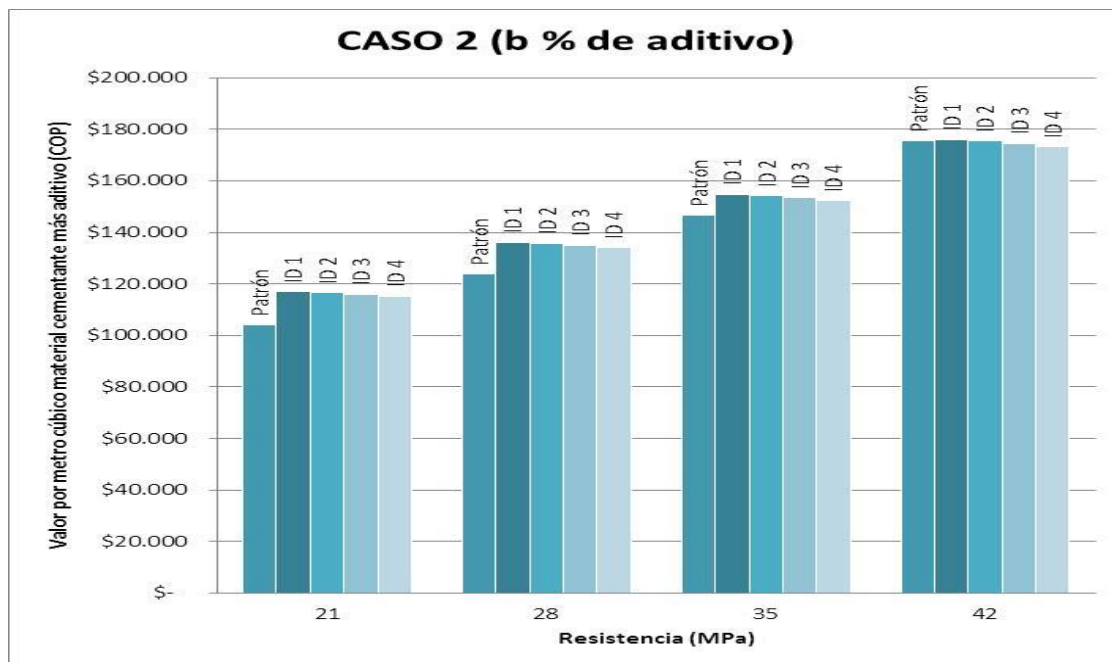


Figura 22. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 2 (b % de aditivo).

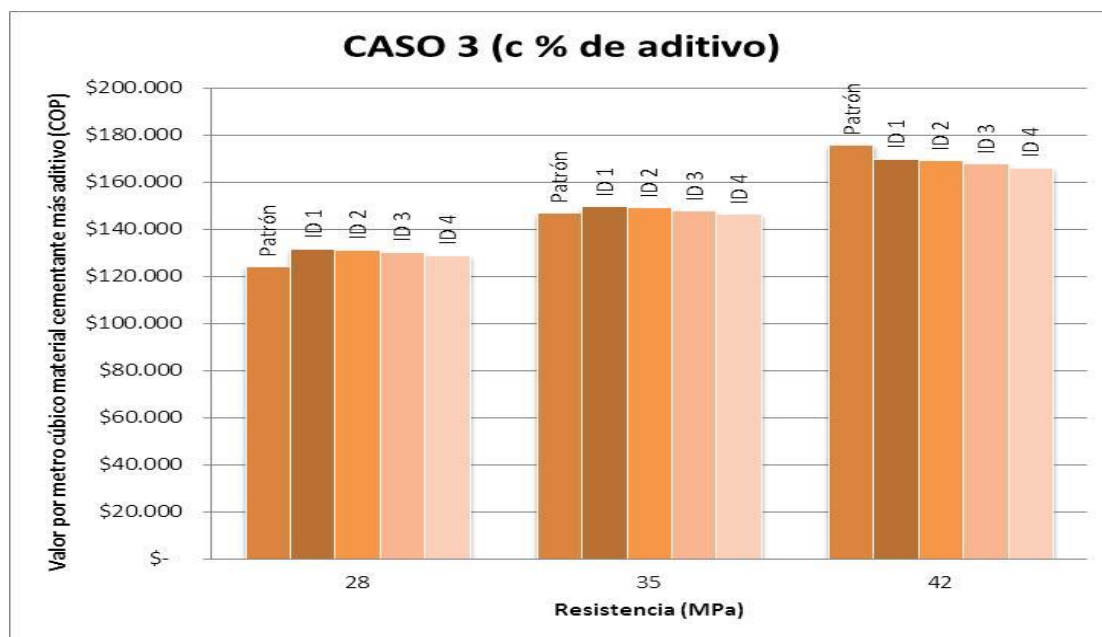


Figura 23. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 3 (c % de aditivo).

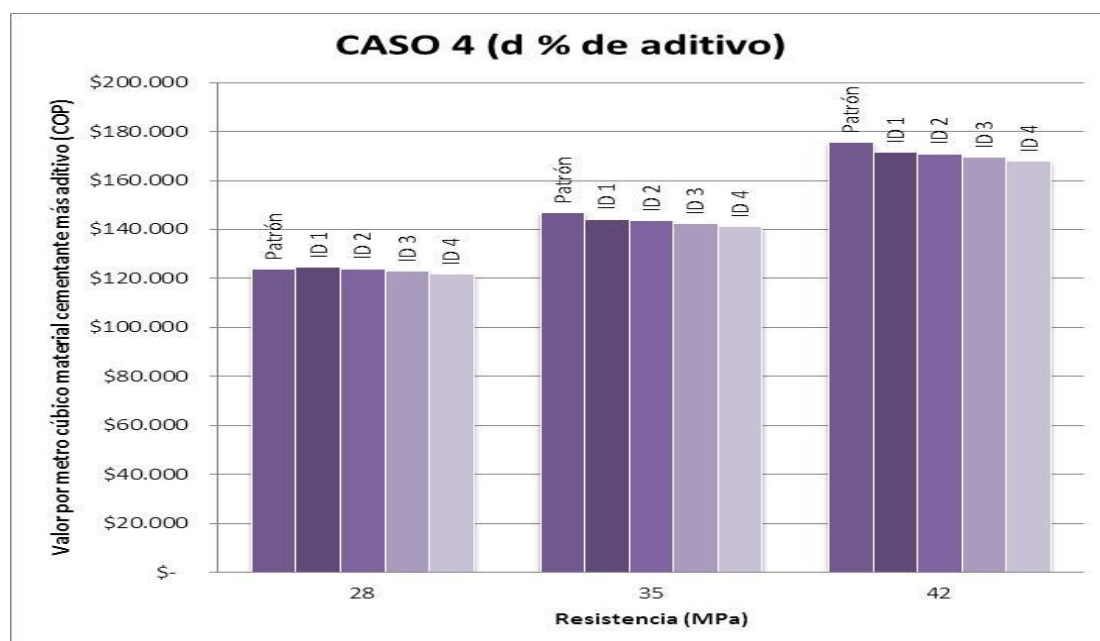


Figura 24. Precio del material cementante más aditivo por metro cúbico a los 56 días de edad. Método experimental caso 4 (d % de aditivo).

A partir de las Figuras 21, 22, 23 y 24 se determina la dosificación óptima para cada una de las resistencias esperadas y se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Dosificación óptima según volumen de compra mensual en función del material cementante y el porcentaje de aditivo sobre el peso del cemento a los 56 días de edad. Método experimental.

Resistencia (MPa)	Resistencias a los 28 días			
	Volumen de compra (kg/mes)			
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000
14	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Patrón - 318 kg/m3	Patrón - 318 kg/m3	Patrón - 318 kg/m3	Patrón - 318 kg/m3
28	Caso 1 (a %) - 337 kg/m3	Caso 1 (a %) - 337 kg/m3	Caso 1 (a %) - 337 kg/m3	Caso 1 (a %) - 337 kg/m3
35	Caso 1 (a %) - 373 kg/m3	Caso 1 (a %) - 373 kg/m3	Caso 1 (a %) - 373 kg/m3	Caso 1 (a %) - 373 kg/m3
42	Caso 1 (a %) - 422 kg/m3	Caso 1 (a %) - 422 kg/m3	Caso 1 (a %) - 422 kg/m3	Caso 1 (a %) - 422 kg/m3

3.3. Análisis de costos para altos y bajos volúmenes de producción.

En este apartado se analizará el costo de producción de las dosificaciones óptimas encontradas en el capítulo 3.2.

Según la Tabla 9 se presenta el valor de cada una de las dosificaciones óptimas obtenidas, según el volumen de compra mensual y el valor asociado al mismo. También se presenta el porcentaje de ahorro promedio esperado con base en la muestra Patrón definida en la Tabla 2.

La Tabla 13 presenta la información anteriormente mencionada para el método analítico a continuación:

Tabla 13. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas. Método analítico.

Resistencia a los 28 días					
Resistencia (MPa)	Volumen de compra (kg/mes)				Ahorro promedio
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000	
14	\$91.500	\$91.500	\$91.500	\$91.500	0,0%
21	\$114.000	\$114.000	\$114.000	\$114.000	0,0%
28	\$148.517	\$148.216	\$147.760	\$147.152	1,4%
35	\$181.199	\$180.822	\$180.250	\$179.488	3,0%
42	\$222.000	\$221.864	\$221.150	\$220.199	0,3%

Se evidencia que en los casos en los cuales la dosificación óptima es la muestra Patrón el ahorro promedio logrado en términos monetarios es igual a cero pesos.

En el caso del método experimental el ahorro promedio logrado se calcula con base en la cantidades reales de material cementante y aditivo requeridas por la muestra Patrón para alcanzar las resistencias de diseño. En algunos casos no es posible determinar si hay o no ahorro debido a la falta de referencia (si la muestra Patrón no alcanza una resistencia determinada no puede calcularse el costo real de la misma).

En las Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 se presentan los valores de las dosificaciones óptimas encontradas en las Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12, respectivamente.

Tabla 14. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas a los 7 días de edad. Método experimental.

Resistencias a los 7 días					
Resistencia (MPa)	Volumen de compra (kg/mes)				Ahorro promedio
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000	
14	\$130.216	\$130.010	\$129.624	\$129.109	5,6%
21	\$166.124	\$165.470	\$164.186	\$162.474	17,1%
28	\$200.733	\$199.886	\$198.299	\$196.184	N/A
35	\$246.041	\$244.983	\$242.999	\$240.354	N/A
42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 15. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas a los 28 días de edad. Método experimental.

Resistencias a los 28 días					
Resistencia (MPa)	Volumen de compra (kg/mes)				Ahorro promedio
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000	
14	\$96.900	\$96.900	\$96.900	\$96.900	0,0%
21	\$117.600	\$117.600	\$117.600	\$117.600	0,0%
28	\$143.501	\$142.922	\$141.836	\$140.389	1,4%
35	\$167.348	\$166.657	\$165.363	\$163.637	10,9%
42	\$200.155	\$199.543	\$198.394	\$196.863	N/A

Los casos definidos por N/A (no aplica) hacen referencia a las muestras que no alcanzan o sobrepasan las resistencias de estudio como se mencionó en el Capítulo 3.2.1.2.

Con los valores obtenidos en las Tabla 13 y Tabla 15, las cuales corresponden a diferentes métodos de análisis, pero a una misma edad, se puede ver que para resistencias de 28, 35 y 42 MPa se obtuvo un ahorro real mayor al esperado según el diseño de mezclas lo que podría indicar una subvaloración de la capacidad de reducción de agua del aditivo.

**Tabla 16. Análisis de costos de las dosificaciones óptimas obtenidas a los 56 días de edad.
Método experimental.**

Resistencias a los 56 días					
Resistencia (MPa)	Volumen de compra (kg/mes)				Ahorro promedio
	0 - 1.000	1.001 - 5.0000	5.000 - 10.001	>10.000	
14	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21	\$104.100	\$104.100	\$104.100	\$104.100	0,0%
28	\$122.735	\$122.543	\$122.183	\$121.703	1,3%
35	\$140.689	\$140.463	\$140.041	\$139.477	4,6%
42	\$165.126	\$164.855	\$164.347	\$163.670	6,3%

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES

El aditivo NANOFLUID ha contribuido de manera significativa a la resistencia a la compresión axial de los concretos producidos por AHINCO S. A. sin afectar la trabajabilidad, color ni el acabado de los mismos, pero factores como la durabilidad deben ser verificados con el fin de cumplir con la normativa nacional e internacional para la aplicación en la construcción. Se ha encontrado, también, una reducción de costos significativa en algunos casos, no mucha en otros y nulos en los restantes, pero las que se han encontrado pueden representar un beneficio económico muy importante para AHINCO S. A., por ejemplo: si se considera un proyecto que demanda 30.000 m³ (volumen normal en una edificación en Medellín) para ser completado y asumiendo que el 50 % del mismo es concreto de 21 MPa, el 40 % de 28 MPa y el 10 % de 35 MPa (resistencias a los 28 días de edad), se presentan los siguientes casos:

Tabla 17. Caso hipotético sobre el beneficio de la aplicación del aditivo

Demanda total (m ³) = 20000		Costo de unitario de producción (COP/m ³)	
Resistencia (MPa)	Demanda (m ³)	Sin aditivo	Con aditivo
21	10000	\$117.600	\$117.600
28	8000	\$144.150	\$143.501
35	2000	\$186.000	\$167.348
TOTAL		\$2.701.200.000	\$2.658.704.000

$$\text{AHORRO (COP)} = \$42.496.000$$

Considerando que el costo final de esta tesis fue aproximadamente 8 millones de pesos en efectivo, la reducción hipotética, pero lógica, en el costo de producción de 42,5 millones de pesos aproximadamente en un solo proyecto de este tipo justifica la inversión. Se ha adquirido conocimiento importante sobre un producto nuevo y se ha logrado reducir el costo de producción de los concretos de AHINCO S. A.,

entendiendo que deberán dedicarse más esfuerzos para continuar optimizando las mezclas para lograr mayores beneficios económicos.

Ahora bien, se ha mencionado en varios apartes de la investigación que a falta de tener una población de ensayos de resistencia a la compresión de los concretos que permitan determinar variables estadísticas como la desviación estándar, se han aplicado unos factores de seguridad ordenados por la NSR-10, que afectan sensiblemente los consumos de material cementante y de aditivo de las diferentes mezclas analizadas en los métodos desarrollados, razón por la cual se propone a AHINCO S.A. y a los futuros estudiantes o investigadores, que continúen la investigación que con seguridad brindará unos resultados económicos más halagadores.

Según el análisis de resultados obtenidos en laboratorio se obtienen las curvas de resistencia en el tiempo para los casos de estudio (Anexo 7) y puede identificarse un fenómeno que, aunque no es objeto de esta investigación, representa un factor positivo para el sector: las altas resistencias logradas en edades tempranas y tardías y la evolución de las mismas en el tiempo. Este aumento en la capacidad de carga puede ser aprovechado por los calculistas, quienes podrán disminuir las dimensiones de los elementos aprovechando los aportes del aditivo y la ceniza, pues la última permitirá el aumento de la resistencia a los 90 días y posteriores significativamente. Lo anterior representa un beneficio muy importante para el grupo AHINCO S. A. Ingeniería y Vivienda S. A. y Concepto Ingeniería S. A. S, pues se logrará reducir costos desde la concepción de un proyecto.

La importancia del uso de aditivos, entonces, ha quedado en evidencia. Será fundamental para AHINCO S. A. continuar con este tipo de estudios para proporcionar concretos con aún mejor calidad y a menores costos que los actuales.

BIBLIOGRAFÍA

- AHINCO S. A. (10 de 2 de 2013). *www.ahinco.com.co*. Recuperado el 4 de 2 de 2013, de *www.ahinco.com.co*: <http://www.ahinco.com.co/>
- ARGOS S. A. (s.f.). *ARGOS* . Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.argos.co/site/Default.aspx?tabid=156>
- Asociacion de Productores de Cemento. ASOCEM. (s.f.). *Asociacion de Productores de Cemento*. Recuperado el 10 de Marzo de 2013, de http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f_doc/concreto/aditivos/MGC19_aditivos_concreto.pdf
- ASTM INTERNACIONAL . (s.f.). *ASTM INTERNACIONAL - STANDARDS WORLDWIDE*. Recuperado el 5 de 2 de 2013, de <http://www.astm.org/>
- CEMEX COLOMBIA S. A. (1 de ENERO de 2011). *CEMEX COLOMBIA*. Obtenido de CEMEX COLOMBIA: <http://www.cemex.com/ES/AcercaCemex/Colombia.aspx>
- Escuela de Ingeniería de Antioquia. (s.f.). *EIA - Escuela de Ingeniería de Antioquia*. Obtenido de www.eia.edu.co
- INDUSTRIAS ULMEN S. A. (Noviembre de 2011). *INDUSTRIAS ULMEN S. A.* Recuperado el 10 de Marzo de 2013, de <http://www.ulmen.es/esp/pdfs/prods/FT%20GAIA%20Nanosilice%20ES.pdf>
- Ministerio de Fomento. (2011). *EHE-08, Instrucción Española del Hormigón Estructural*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.
- Norma Técnica Colombiana. (2007). *Durabilidad del concreto*. Bogotá D. C.: ICONTEC.

Universidad de Buenos Aires. (2013). *Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires*. Recuperado el 21 de 10 de 2013, de <http://www.ingenieria.uba.ar/>

Universidad de Castela, La Mancha. (s.f.). Instrucción del Hormigón Estructural (ehe - 08). España. Obtenido de http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/EHE08_Materiales.pdf

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (s.f.). TÍTULO C. CONCRETO ESTRUCTURAL. Obtenido de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_C.pdf

ANEXO 1. PROPUESTA COMERCIAL Y FICHA TÉCNICA



1. Las acciones físicas:

Generando mayores niveles de fluidez con menores cantidades de agua.

Mayor cohesividad por contener una menor relación agua cemento.

Incremento de la compacidad (densidad) del concreto, por la utilización del compuesto Nano Sílice.

2. Las acciones químicas:

Generando una dispersión iónica única. La composición especial de este aditivo, permite una humectación temprana de la mezcla, debido a la acción de los campos electrostáticos generados por la reacción del agua en contacto con todos los compuestos de la mezcla.

3. Las acciones mecánicas:

Generando mayor resistencia en todas las edades del concreto.

Menores desgastes mecánicos una vez alcanzadas las resistencias finales del hormigón.

CUADRO DE AHORROS DE CEMENTO SEGÚN TIPOS DE MEZCLA.



Dosificación por Peso para 1 kg de Cemento

DESCRIPCIÓN	CONCRETO EN Mpa.									
	21		28		31.5		35		42	
Relación (Agua / Material Cementante)	0,6	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
Metro cúbico (m3.) de concreto	1									
Arena Pavimentar (kg.) 1.600	792		731,5		695		614		623	
Triturado Pavimentar (kg.) 1.800	1.043		1.040		1.056		1.030		1.014	
Cemento (Kg/m3.)	370	300	475	325	515	350	585	390	685	436
Asentamiento (cm.)	7,5 - 9									
Resistencia a 3 días	104		124		153		191		217	
Resistencia a 7 días	163		203		240		270		302	
Resistencia a 28 días	233		290		342		386		432	
AHORRO EN CEMENTO (kg.)	70		150		165		195		249	

Además de los beneficios enunciados, que se consiguen con la utilización de un aditivo de última generación tipo Nano Fluid; se pueden lograr adicionalmente **importantes AHORROS de cemento**, como las que se observan en esta tabla. Aquí se puede ver que en mezclas de 21 Mpa aplicando el aditivo P.C.E Silica Coloidal, se pueden lograr reducciones de más de 70 kilos de cemento por metro cubico; para mezclas de 28 Mpa se pueden lograr ahorros de 150 kilos por metro cubico y en mezclas de 42 Mpa se pueden lograr ahorros hasta de 249 kilos por metro cubico; **ahorros de cemento muy superiores a las que se logran en mezclas elaboradas con cualquier otro aditivos.**

**PRECIOS Y PROPUESTA COMERCIAL:**

NANO FLUID PEDIDO EN KILOS hasta	PRECIO/KILO ANTES DE IVA	VARIACION	
		EN PESOS	EN %
1 - 1.000	\$ 8.400		
1.001 - 5.000	\$ 8.240	160	1,90%
5.001 - 10.000	\$ 7.940	300	5,48%
Mas de 10.000	\$ 7.540	400	10,24%

Condiciones de la oferta:

- ✓ Estos precios corresponden a la suma de las cantidades de los pedidos realizados durante el mismo mes, y los valores son antes de IVA.
- ✓ El pago es de contado.
- ✓ El tiempo de entrega es de 48 horas después de recibir la correspondiente orden de compra.

No queda por demás recordarle los precios especiales que le estoy ofreciendo en el aditivo SUPERAPLIKA, del cual le envío también precio en las mismas condiciones comerciales del Nano Fluid.

SUPERAPLIKA PEDIDO EN KILOS hasta	PRECIO/KILO ANTES DE IVA	VARIACION	
		EN PESOS	EN %
1 - 1.000	\$ 2.481		
1.001 - 5.000	\$ 2.330	151	6,09%
5.001 - 10.000	\$ 2.150	180	13,34%
Mas de 10.000	\$ 1.950	200	21,40%

Si requiere mayor información, por favor comuníquese con nuestra Dirección Comercial.

Cordialmente;

CESAR AUGUSTO GIRALDO G.
 Director Comercial
 Teléfono 373 18 48
 Móvil 304 429 91 99



FICHA TÉCNICA

Versión
2.0**NANOFLUID AR**

Nano aditivo Súper-plastificante

DESCRIPCION

NANOFLUID AR es un nano-aditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño nanométrico. Gran reductor de agua, de alta actividad. Pertenece a la línea NANOFLUID, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nano-partículas de sílice en nano partículas de cemento.

Cumple con todos los requerimientos de la norma ASTM C-494. Tipos A y F.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

ASPECTO FISICO: Líquido Pardo Claro

COLOR: Pardo Claro

pH, 25°C: $5,00 \pm 0,5$

Densidad, 25°C: 1 ± 0.08 gr/ml

Viscosidad, 25°C: < 200 cPs

Contenido en cloruros: < 0,1%

Contenido de sólidos: 15 +/- 1

APLICACIONES

NANOFLUID AR por su elevado poder de fluidificación y sumado a la capacidad de favorecer la evolución de resistencias, sobre todo a edades muy tempranas, lo hace ideal para:

- Industria del hormigón prefabricado, pretensado, armado y pos tensado.
- Hormigón Fast Track.
- Hormigón de Altas Prestaciones (AHR).
- Hormigón ligero de baja densidad.
- Y todas las aplicaciones tradicionales de micro-sílice.

PROPIEDADES

- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final.
- Permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del hormigón.
- No produce retrasos de fraguado.
- Ideal para Hormigón Fast Track.
- Evita la segregación y la excesiva exudación.
- Mejora el acabado y la textura de la superficie del hormigón.
- Evita la formación de coqueas y nidos de grava.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Al eliminar el total de la sílice en polvo en cualesquiera de sus alternativas y por su alta absorción de agua, nos permite eliminar súper-plastificantes y reducir al mínimo los reductores plastificantes.

- No contiene cloruros, ni ningún ingrediente promotor de la corrosión. Es utilizado sin problemas en hormigón armado y pretensando.
- Ideal para hormigones tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores, con adecuadas dosificaciones.
- Hormigones de altas prestaciones: 70 MPa R28.
- Cono de 78 a 50 cm. en 2 horas con R1 de 44 MPa y 80 MPa a R 28.
- Aumenta en más del 50% la resistencia a la flexotracción.
- Evita en gran medida las eflorescencias.

NORMAS

Cumple con los requisitos y especificaciones de "Aditivos para hormigón": Reductor de agua de alta actividad/ Súper-plastificante de la norma UNE-EN 934-2:2002 (EN 934-2:2001) Y ASTM C-494 Tipo A

METODO DE APLICACION

- NANOFLUID AR se utiliza en dosis del 1 al 2% sobre el peso del cemento.

- NANOFLUID AR debe agregarse una vez tengamos mezclados los áridos con el cemento y después de haber echado el agua correspondiente. Dejar amasar sobre 10 a 12 minutos. No adicionar el producto sobre la masa seca de cemento y áridos.
- NANOFLUID AR puede ser utilizado en conjunto con otros de la línea NANOFLUID, por lo que se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada.
- En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas.

PRESENTACION

Garrafa Plástica X 20 kg
Tambor plástico X 200 Kg.
IBC x 1050 kg

ALMACENAMIENTO

Puede almacenarse durante 12 meses en su envase original cerrado, protegido del sol, a temperaturas entre 5 y 35°C-

En caso de congelamiento del NANOFLUID AR puede ser utilizado si se descongela lentamente a temperatura de 20° C y se agita de forma intensa.

DECLINACIÓN DE RESPONSABILIDAD: La información contenida en esta Hoja de Datos de Seguridad ha sido obtenida a partir de fuentes propias y otras externas que se consideran fidedignas. No obstante, la información se proporciona sin ninguna garantía, expresa o implícita en cuanto a su exactitud. Las condiciones y métodos de manejo, de almacenamiento, de uso y/o de eliminación del producto se consideran fuera del control y del conocimiento del fabricante. Por esta y otras razones, no se asume por parte del fabricante ninguna responsabilidad, descartando cualquier responsabilidad por pérdida, daño y/o gastos ocasionados por cualquiera de las condiciones y métodos citados anteriormente a los que puedan verse sometidos los productos. Esta FICHA TECNICA ha sido preparada ex profeso para este producto y debe ser empleada únicamente para el mismo. En aquellos casos en los que el producto sea usado como un componente de otro producto, es posible que la información contenida en este documento no sea aplicable.

ANEXO 2. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

- Corrección de f'_c por falta de datos

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

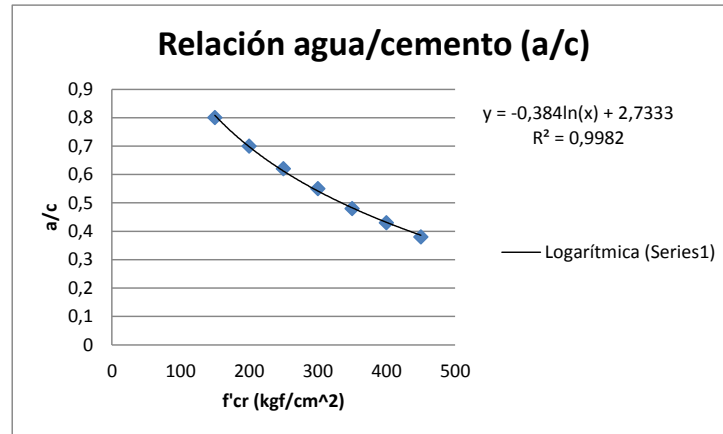
- Determinación del contenido de agua en la mezcla

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en lt/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---

- Determinación de la relación agua/cemento

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'_{cr}) (kg/cm ²)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

- Gráfico para la determinación de la relación agua/cemento



ANEXO 3. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO ANALÍTICO

- Caso 1: a % de aditivo, reducción de agua del 30 %.

				ID				ID			
				1	2	3	4	1	2	3	4
f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	Reducción de costos por material cementante (COP)	Cantidad de aditivo	Valor total aditivo si \$/kg = 9744 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9558,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9210,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 8746,4 (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)
14	21	\$ 4.855,97	0,76	\$ 7.387,06	\$ 7.246,35	\$ 6.982,53	\$ 6.630,77	-\$ 2.531,09	-\$ 2.390,38	-\$ 2.126,56	-\$ 1.774,79
21	29,3	\$ 5.600,45	1,00	\$ 9.735,13	\$ 9.549,70	\$ 9.202,01	\$ 8.738,44	-\$ 4.134,68	-\$ 3.949,25	-\$ 3.601,57	-\$ 3.137,99
28	36,3	\$14.313,53	1,31	\$12.830,62	\$12.529,65	\$12.073,48	\$11.465,24	\$ 1.482,90	\$ 1.783,87	\$ 2.240,05	\$ 2.848,29
35	43,3	\$20.879,13	1,64	\$16.078,02	\$15.700,88	\$15.129,24	\$14.367,06	\$ 4.801,11	\$ 5.178,25	\$ 5.749,89	\$ 6.512,07
42	51,2	\$19.736,15	2,05	\$20.070,65	\$19.599,85	\$18.886,26	\$17.934,81	-\$ 334,50	\$ 136,30	\$ 849,89	\$ 1.801,34

- Caso 2: b % de aditivo, reducción de agua del 35 %.

				ID				ID			
				1	2	3	4	1	2	3	4
f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	Reducción de costos por cemento	Cantidad de aditivo	Valor total aditivo si \$/kg = 9744 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9558,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9210,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 8746,4 (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)
14	21	\$ 9.954,75	1,43	\$13.905,05	\$13.640,20	\$13.143,59	\$12.481,44	-\$ 3.950,31	-\$ 3.685,45	-\$ 3.188,84	-\$ 2.526,70
21	29,3	\$11.979,32	1,88	\$18.324,95	\$17.975,90	\$17.321,44	\$16.448,82	-\$ 6.345,63	-\$ 5.996,58	-\$ 5.342,12	-\$ 4.469,51
28	36,3	\$22.292,20	2,47	\$24.151,76	\$23.585,23	\$22.726,54	\$21.581,63	-\$ 1.859,56	-\$ 1.293,02	-\$ 434,34	\$ 710,57
35	43,3	\$30.593,21	3,09	\$30.264,51	\$29.554,59	\$28.478,57	\$27.043,88	\$ 328,70	\$ 1.038,62	\$ 2.114,64	\$ 3.549,33
42	51,2	\$31.636,09	3,86	\$37.780,04	\$36.893,83	\$35.550,60	\$33.759,64	-\$ 6.143,96	-\$ 5.257,74	-\$ 3.914,52	-\$ 2.123,55

- Caso 3: c % de aditivo, reducción de agua del 40 %.

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	Reducción de costos por cemento	Cantidad de aditivo	ID				ID			
				1	2	3	4	1	2	3	4
				Valor total aditivo si \$/kg = 9744 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9558,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9210,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 8746,4 (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)
14	21	\$12.625,53	2,07	\$20.174,74	\$19.790,46	\$19.069,94	\$18.109,24	-\$ 7.549,21	-\$ 7.164,93	-\$ 6.444,41	-\$ 5.483,70
21	29,3	\$18.358,19	2,64	\$25.769,46	\$25.278,61	\$24.358,27	\$23.131,16	-\$ 7.411,27	-\$ 6.920,42	-\$ 6.000,08	-\$ 4.772,97
28	36,3	\$30.270,88	3,47	\$33.963,42	\$33.166,73	\$31.959,20	\$30.349,16	-\$ 3.692,54	-\$ 2.895,85	-\$ 1.688,32	-\$ 78,28
35	43,3	\$40.307,29	4,35	\$42.559,47	\$41.561,14	\$40.047,99	\$38.030,46	-\$ 2.252,18	-\$ 1.253,85	\$ 259,30	\$ 2.276,83
42	51,2	\$43.536,03	5,43	\$53.128,19	\$51.881,94	\$49.993,04	\$47.474,50	-\$ 9.592,16	-\$ 8.345,92	-\$ 6.457,01	-\$ 3.938,47

- Caso 4: d % de aditivo, reducción de agua del 45 %.

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)	Reducción de costos por cemento	Cantidad de aditivo	ID				ID			
				1	2	3	4	1	2	3	4
				Valor total aditivo si \$/kg = 9744 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9558,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 9210,4 (COP)	Valor total aditivo si \$/kg = 8746,4 (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)	Reducción total de costos (COP)
14	21	\$12.625,53	2,76	\$26.899,66	\$26.387,29	\$25.426,58	\$24.145,65	-\$ 14.274,13	-\$ 13.761,75	-\$ 12.801,05	-\$ 11.520,11
21	29,3	\$24.737,06	3,29	\$32.068,66	\$31.457,83	\$30.312,52	\$28.785,44	-\$ 7.331,60	-\$ 6.720,77	-\$ 5.575,46	-\$ 4.048,38
28	36,3	\$38.249,56	4,32	\$42.265,58	\$41.274,15	\$39.771,45	\$37.767,85	-\$ 4.016,03	-\$ 3.024,59	-\$ 1.521,89	\$ 481,71
35	43,3	\$50.021,37	5,41	\$52.962,90	\$51.720,53	\$49.837,50	\$47.326,80	-\$ 2.941,52	-\$ 1.699,16	\$ 183,87	\$ 2.694,58
42	51,2	\$55.435,97	6,75	\$66.115,08	\$64.564,20	\$62.213,56	\$59.079,37	-\$ 10.679,11	-\$ 9.128,23	-\$ 6.777,59	-\$ 3.643,41

ANEXO 4. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL 7 DÍAS DE EDAD

- Muestra de referencia: Patrón

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)
140	223	384	\$ 133.800,00
210	293	540	\$ 204.000,00
280	363	No puede obtenerse	
350	433	No puede obtenerse	
420	512	No puede obtenerse	

- Caso 1: a % de aditivo

					Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	352	\$ 119.400,00	1,11	\$ 10.815,84	\$ 10.609,82	\$ 10.223,54	\$ 9.708,50	\$ 130.216	\$ 130.010	\$ 129.624	\$ 129.109
210	293	424	\$ 151.800,00	1,47	\$ 14.323,68	\$ 14.050,85	\$ 13.539,29	\$ 12.857,21	\$ 166.124	\$ 165.851	\$ 165.339	\$ 164.657
280	363	No puede obtenerse										
350	433	No puede obtenerse										
420	512	No puede obtenerse										

• Caso 2: b % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	368	\$ 126.600,00	2,38	\$ 23.190,72	\$ 22.748,99	\$ 21.920,75	\$ 20.816,43	\$ 149.791	\$ 149.349	\$ 148.521	\$ 147.416
210	293	412	\$ 146.400,00	2,82	\$ 27.478,08	\$ 26.954,69	\$ 25.973,33	\$ 24.664,85	\$ 173.878	\$ 173.355	\$ 172.373	\$ 171.065
280	363	462	\$ 168.900,00	3,32	\$ 32.350,08	\$ 31.733,89	\$ 30.578,53	\$ 29.038,05	\$ 201.250	\$ 200.634	\$ 199.479	\$ 197.938
350	433	No puede obtenerse										
420	512	No puede obtenerse										

• Caso 3: c % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	330	\$ 109.500,00	3,00	\$ 29.232,00	\$ 28.675,20	\$ 27.631,20	\$ 26.239,20	\$ 138.732	\$ 138.175	\$ 137.131	\$ 135.739
210	293	376	\$ 130.200,00	3,69	\$ 35.955,36	\$ 35.270,50	\$ 33.986,38	\$ 32.274,22	\$ 166.155	\$ 165.470	\$ 164.186	\$ 162.474
280	363	434	\$ 156.300,00	4,56	\$ 44.432,64	\$ 43.586,30	\$ 41.999,42	\$ 39.883,58	\$ 200.733	\$ 199.886	\$ 198.299	\$ 196.184
350	433	510	\$ 190.500,00	5,70	\$ 55.540,80	\$ 54.482,88	\$ 52.499,28	\$ 49.854,48	\$ 246.041	\$ 244.983	\$ 242.999	\$ 240.354
420	512	No puede obtenerse										

• Caso 4: d % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	328	\$ 108.600,00	3,96	\$ 38.586,24	\$ 37.851,26	\$ 36.473,18	\$ 34.635,74	\$ 147.186	\$ 146.451	\$ 145.073	\$ 143.236
210	293	374	\$ 129.300,00	4,88	\$ 47.550,72	\$ 46.644,99	\$ 44.946,75	\$ 42.682,43	\$ 176.851	\$ 175.945	\$ 174.247	\$ 171.982
280	363	424	\$ 151.800,00	5,88	\$ 57.294,72	\$ 56.203,39	\$ 54.157,15	\$ 51.428,83	\$ 209.095	\$ 208.003	\$ 205.957	\$ 203.229
350	433	492	\$ 182.400,00	7,24	\$ 70.546,56	\$ 69.202,82	\$ 66.683,30	\$ 63.323,94	\$ 252.947	\$ 251.603	\$ 249.083	\$ 245.724
420	512	No puede obtenerse										

ANEXO 5. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL 28 DÍAS DE EDAD

- Muestra de referencia: patrón

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)
140	223	302	\$ 96.900,00
210	293	348	\$ 117.600,00
280	363	407	\$ 144.150,00
350	433	500	\$ 186.000,00
420	512	0	-\$ 39.000,00

- Caso 1: a % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	298	\$ 95.100,00	0,84	\$ 8.184,96	\$ 8.029,06	\$ 7.736,74	\$ 7.346,98	\$ 103.285	\$ 103.129	\$ 102.837	\$ 102.447
210	293	338	\$ 113.100,00	1,04	\$ 10.133,76	\$ 9.940,74	\$ 9.578,82	\$ 9.096,26	\$ 123.234	\$ 123.041	\$ 122.679	\$ 122.196
280	363	386	\$ 134.700,00	1,28	\$ 12.472,32	\$ 12.234,75	\$ 11.789,31	\$ 11.195,39	\$ 147.172	\$ 146.935	\$ 146.489	\$ 145.895
350	433	455	\$ 165.750,00	1,63	\$ 15.834,00	\$ 15.532,40	\$ 14.966,90	\$ 14.212,90	\$ 181.584	\$ 181.282	\$ 180.717	\$ 179.963
420	512	No puede obtenerse										

• Caso 2: b % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	298	\$ 95.100,00	1,68	\$ 16.369,92	\$ 16.058,11	\$ 15.473,47	\$ 14.693,95	\$ 111.470	\$ 111.158	\$ 110.573	\$ 109.794
210	293	332	\$ 110.400,00	2,02	\$ 19.682,88	\$ 19.307,97	\$ 18.605,01	\$ 17.667,73	\$ 130.083	\$ 129.708	\$ 129.005	\$ 128.068
280	363	367	\$ 126.150,00	2,37	\$ 23.093,28	\$ 22.653,41	\$ 21.828,65	\$ 20.728,97	\$ 149.243	\$ 148.803	\$ 147.979	\$ 146.879
350	433	406	\$ 143.700,00	2,76	\$ 26.893,44	\$ 26.381,18	\$ 25.420,70	\$ 24.140,06	\$ 170.593	\$ 170.081	\$ 169.121	\$ 167.840
420	512	460	\$ 168.000,00	3,30	\$ 32.155,20	\$ 31.542,72	\$ 30.394,32	\$ 28.863,12	\$ 200.155	\$ 199.543	\$ 198.394	\$ 196.863

• Caso 3: c % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	0	-\$ 39.000,00	-1,95	-\$ 19.000,80	-\$ 18.638,88	-\$ 17.960,28	-\$ 17.055,48	-\$ 58.001	-\$ 57.639	-\$ 56.960	-\$ 56.055
210	293	306	\$ 98.700,00	2,64	\$ 25.724,16	\$ 25.234,18	\$ 24.315,46	\$ 23.090,50	\$ 124.424	\$ 123.934	\$ 123.015	\$ 121.790
280	363	338	\$ 113.100,00	3,12	\$ 30.401,28	\$ 29.822,21	\$ 28.736,45	\$ 27.288,77	\$ 143.501	\$ 142.922	\$ 141.836	\$ 140.389
350	433	378	\$ 131.100,00	3,72	\$ 36.247,68	\$ 35.557,25	\$ 34.262,69	\$ 32.536,61	\$ 167.348	\$ 166.657	\$ 165.363	\$ 163.637
420	512	445	\$ 161.250,00	4,73	\$ 46.040,40	\$ 45.163,44	\$ 43.519,14	\$ 41.326,74	\$ 207.290	\$ 206.413	\$ 204.769	\$ 202.577

• Caso 4: d % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	0	-\$ 39.000,00	-2,60	-\$ 25.334,40	-\$ 24.851,84	-\$ 23.947,04	-\$ 22.740,64	-\$ 64.334	-\$ 63.852	-\$ 62.947	-\$ 61.741
210	293	308	\$ 99.600,00	3,56	\$ 34.688,64	\$ 34.027,90	\$ 32.789,02	\$ 31.137,18	\$ 134.289	\$ 133.628	\$ 132.389	\$ 130.737
280	363	338	\$ 113.100,00	4,16	\$ 40.535,04	\$ 39.762,94	\$ 38.315,26	\$ 36.385,02	\$ 153.635	\$ 152.863	\$ 151.415	\$ 149.485
350	433	373	\$ 128.850,00	4,86	\$ 47.355,84	\$ 46.453,82	\$ 44.762,54	\$ 42.507,50	\$ 176.206	\$ 175.304	\$ 173.613	\$ 171.358
420	512	423	\$ 151.350,00	5,86	\$ 57.099,84	\$ 56.012,22	\$ 53.972,94	\$ 51.253,90	\$ 208.450	\$ 207.362	\$ 205.323	\$ 202.604

ANEXO 6. MEMORIAS DE CÁLCULO DE COSTOS POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL 56 DÍAS DE EDAD

- Caso 1: a % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223				No puede obtenerse							
210	293	306	\$ 98.700,00	0,88	\$ 8.574,72	\$ 8.411,39	\$ 8.105,15	\$ 7.696,83	\$ 107.275	\$ 107.111	\$ 106.805	\$ 106.397
280	363	337	\$ 112.650,00	1,04	\$ 10.085,04	\$ 9.892,94	\$ 9.532,76	\$ 9.052,52	\$ 122.735	\$ 122.543	\$ 122.183	\$ 121.703
350	433	373	\$ 128.850,00	1,22	\$ 11.838,96	\$ 11.613,46	\$ 11.190,64	\$ 10.626,88	\$ 140.689	\$ 140.463	\$ 140.041	\$ 139.477
420	512	422	\$ 150.900,00	1,46	\$ 14.226,24	\$ 13.955,26	\$ 13.447,18	\$ 12.769,74	\$ 165.126	\$ 164.855	\$ 164.347	\$ 163.670

- Caso 2: b % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223				No puede obtenerse							
210	293	308	\$ 99.600,00	1,78	\$ 17.344,32	\$ 17.013,95	\$ 16.394,51	\$ 15.568,59	\$ 116.944	\$ 116.614	\$ 115.995	\$ 115.169
280	363	343	\$ 115.350,00	2,13	\$ 20.754,72	\$ 20.359,39	\$ 19.618,15	\$ 18.629,83	\$ 136.105	\$ 135.709	\$ 134.968	\$ 133.980
350	433	377	\$ 130.650,00	2,47	\$ 24.067,68	\$ 23.609,25	\$ 22.749,69	\$ 21.603,61	\$ 154.718	\$ 154.259	\$ 153.400	\$ 152.254
420	512	416	\$ 148.200,00	2,86	\$ 27.867,84	\$ 27.337,02	\$ 26.341,74	\$ 25.014,70	\$ 176.068	\$ 175.537	\$ 174.542	\$ 173.215

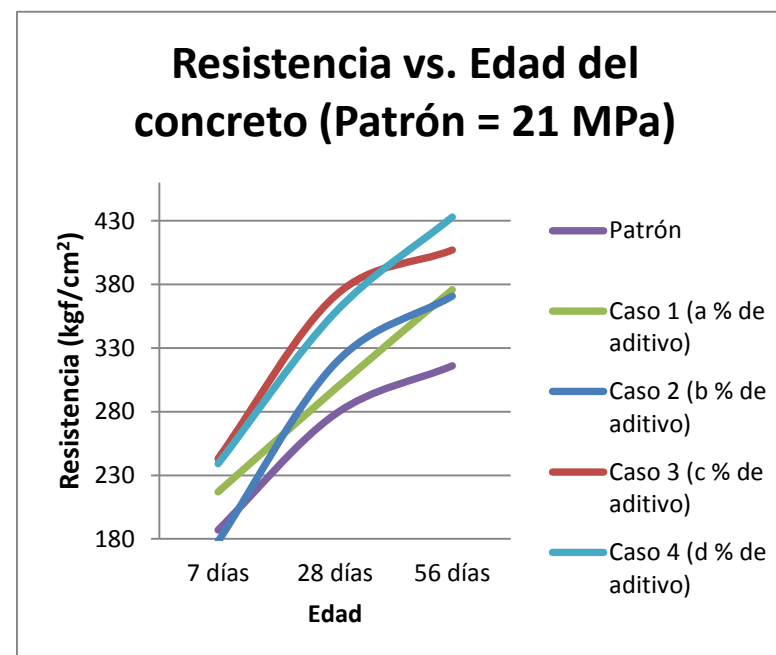
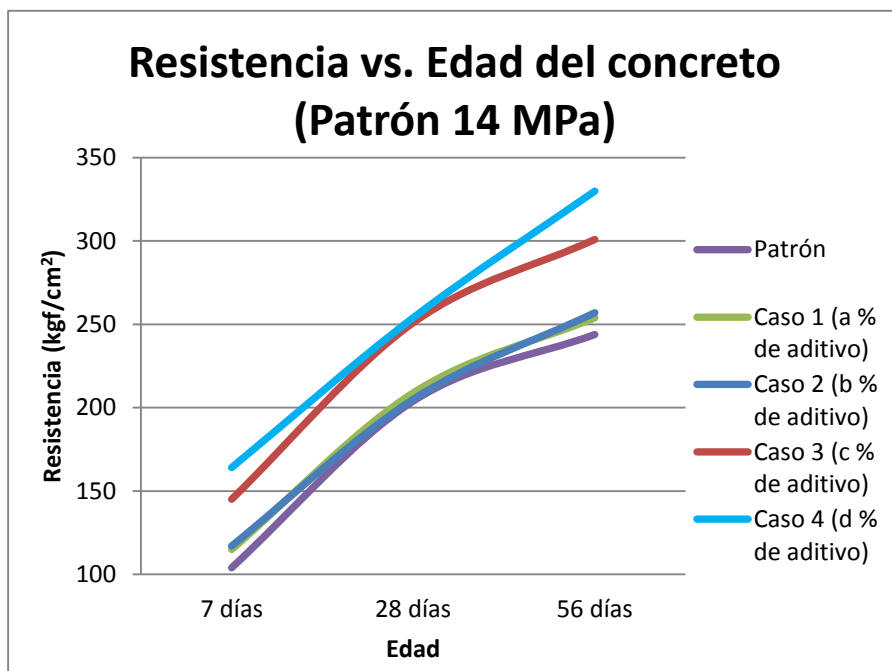
- Caso 3: c % de aditivo

Resistencia esperada (kgf/cm ²)	Resistencia de diseño (kgf/cm ²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
					1	2	3	4	1	2	3	4
140	223				No puede obtenerse							
210	293				No puede obtenerse							
280	363	318	\$ 104.100,00	2,82	\$ 27.478,08	\$ 26.954,69	\$ 25.973,33	\$ 24.664,85	\$ 131.578	\$ 131.055	\$ 130.073	\$ 128.765
350	433	348	\$ 117.600,00	3,27	\$ 31.862,88	\$ 31.255,97	\$ 30.118,01	\$ 28.600,73	\$ 149.463	\$ 148.856	\$ 147.718	\$ 146.201
420	512	382	\$ 132.900,00	3,78	\$ 36.832,32	\$ 36.130,75	\$ 34.815,31	\$ 33.061,39	\$ 169.732	\$ 169.031	\$ 167.715	\$ 165.961

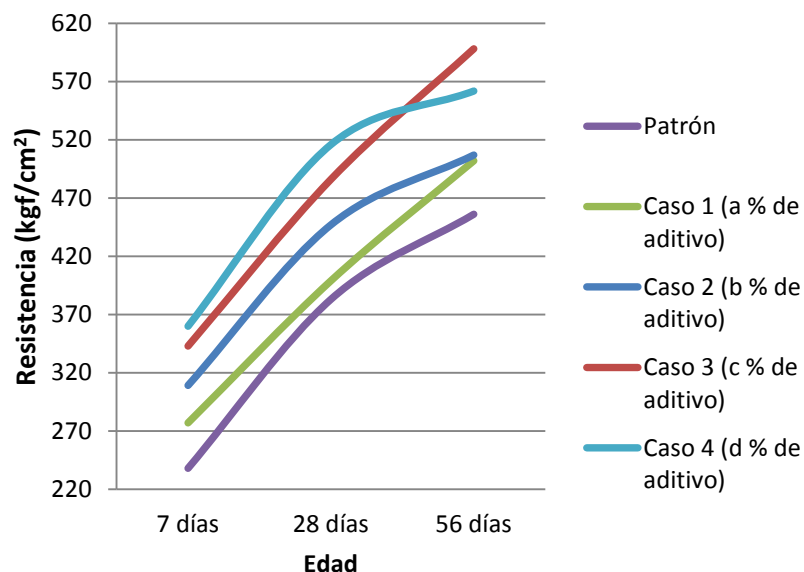
- Caso 4: d % de aditivo

					Valor total del aditivo (COP)				Valor por metro cúbico de cemento + ceniza + aditivo (COP)			
					ID				ID			
Resistencia esperada (kgf/cm²)	Resistencia de diseño (kgf/cm²)	Material cementante (kg)	Valor material cementante (COP)	Cantidad aditivo (kg)	1	2	3	4	1	2	3	4
140	223	No puede obtenerse										
210	293	No puede obtenerse										
280	363	306	\$ 98.700,00	2,64	\$ 25.724,16	\$ 25.234,18	\$ 24.315,46	\$ 23.090,50	\$ 124.424	\$ 123.934	\$ 123.015	\$ 121.790
350	433	339	\$ 113.550,00	3,14	\$ 30.547,44	\$ 29.965,58	\$ 28.874,60	\$ 27.419,96	\$ 144.097	\$ 143.516	\$ 142.425	\$ 140.970
420	512	385	\$ 134.250,00	3,83	\$ 37.270,80	\$ 36.560,88	\$ 35.229,78	\$ 33.454,98	\$ 171.521	\$ 170.811	\$ 169.480	\$ 167.705

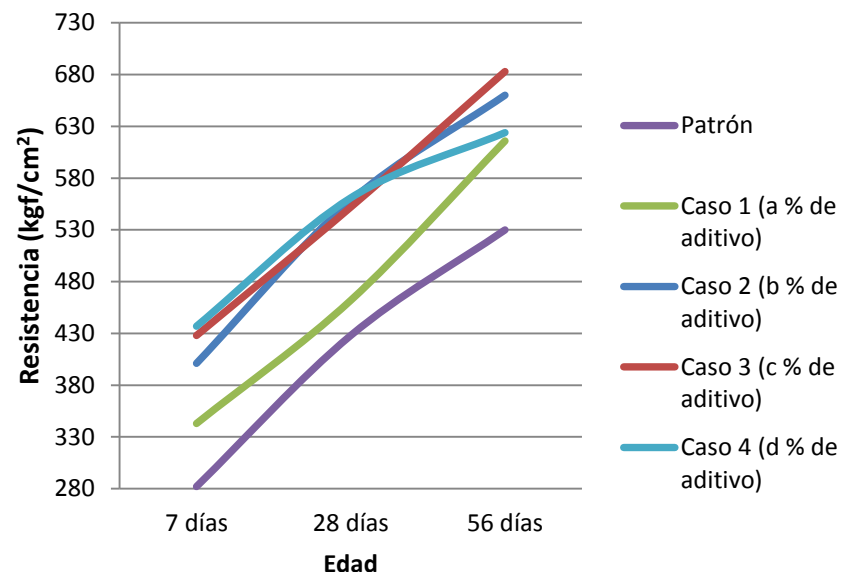
ANEXO 7. EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL TIEMPO OBTENIDA POR EL MÉTODO EXPERIMENTAL PARA TODOS LOS CASOS.



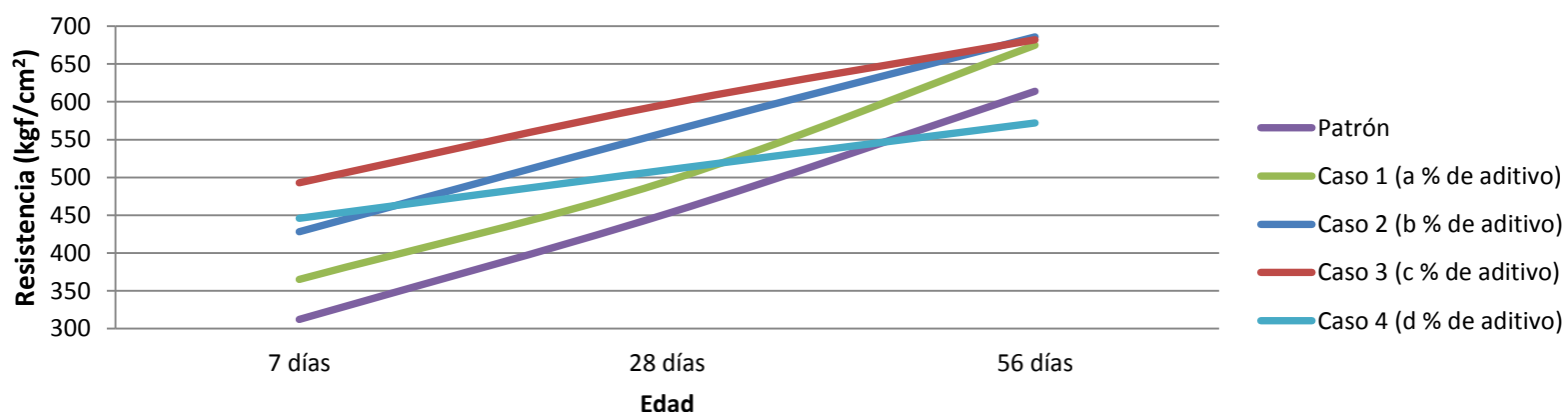
Resistencia vs. Edad del concreto (Patrón = 28 MPa)



Resistencia vs. Edad del concreto (Patrón = 35 MPa)



Resistencia vs. Edad del concreto (Patrón = 42 MPa)



ANEXO 8. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

- MATERIALES PÉTREOS

M1: Arena para concreto suministrada por MINCIVIL S. A.

M2: Agregado grueso de ¾" suministrado por MINCIVIL S. A.

Descripción	Cemento	M1	M2	Especificación M1	Especificación M2
Gradación	-	Figura A	Figura B	Figura A	Figura B
Densidad seca (g/cm ³)	3,1	2,59	2,69	Entre 2,40 y 2,70	Entre 2,40 y 2,70
Densidad s. s. s. (g/cm ³)	-	2,65	2,73	Entre 2,40 y 2,70	Entre 2,40 y 2,70
Absorción (%)	-	2,16	1,38	Menor que 5,00	Menor que 2,00
Tamaño máximo nominal	-	-	¾"	-	-
Módulo de finura	-	2,65	-	Entre 2,30 y 3,10	-
Pasante malla Nro. 200 (%)	-	2,97	0,51		<= que 1,00

Figura A

	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100
Tamaños (mm)	9,5	4,8	2,4	1,19	0,60	0,30	0,149
Pasa Acumulado (%)	100,00	97,44	80,61	62,17	47,19	30,69	16,64
Especificación	L. Inferior	100	95	80	50	25	10
	L. Superior	100	100	100	85	60	30

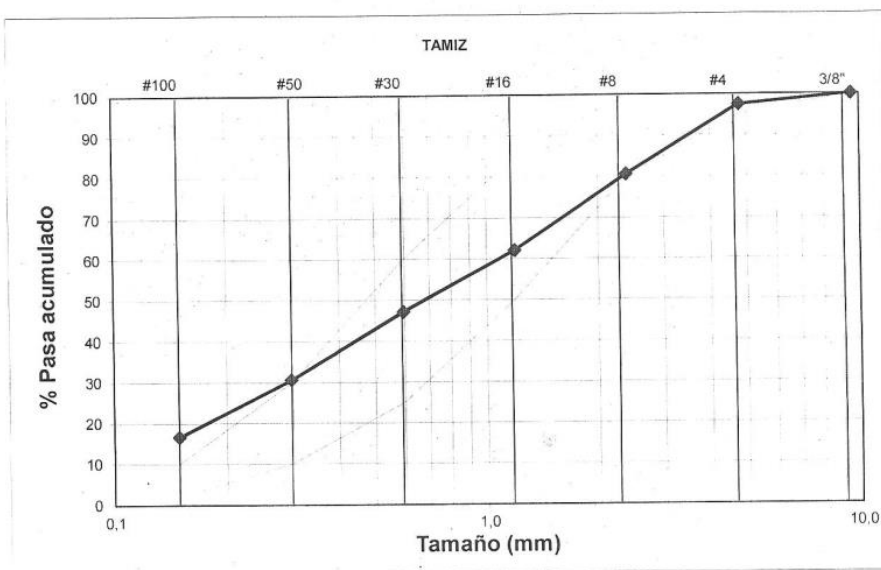
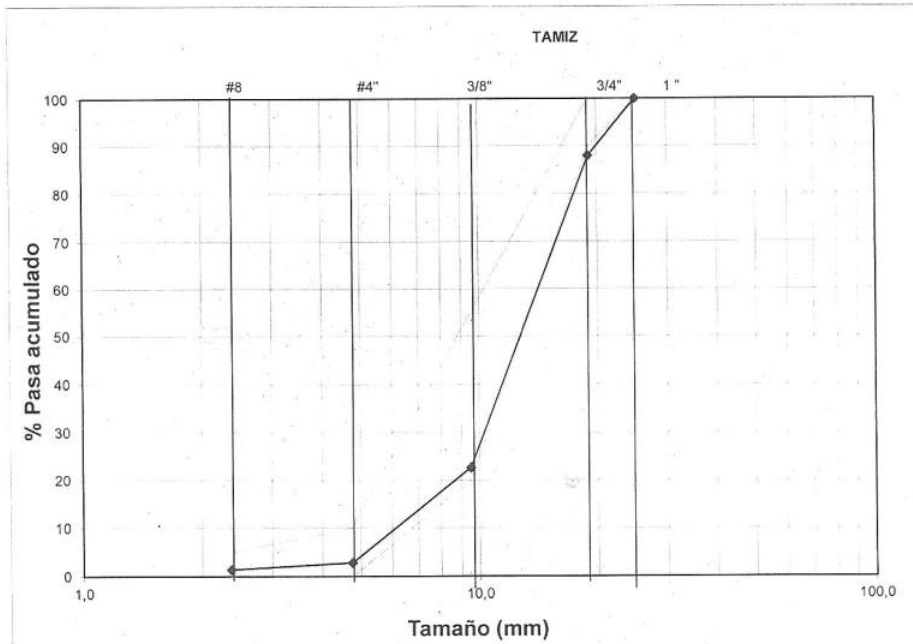



Figura B

Tamiz (ASTM)		1 "	3/4"	3/8"	#4	#8
Tamaños (mm)		25,0	19,0	9,5	4,75	2,36
Pasa Acumulado (%)		100,00	87,95	22,70	2,86	1,44
Especificación	L. Inferior	100	90	20	0	0
	L. Superior	100	100	55	10	5



- Cemento estructural: suministrados por ARGOS. (ARGOS S. A., 2012)

Especificaciones Técnicas

PRUEBAS FÍSICAS		VALORES TÍPICOS CEMENTOS ARGOS	ASTM C-1157 - 10															
Expansión al Autoclave, % máx.		0.30	0.80															
Tiempo de Fraguado: Vicat Inicial, mín. (minutos)		100	45															
Tiempo de Fraguado: Vicat Final, máx. (minutos)		300	420															
Expansión de la Barra de Mortero, % máx. (a los 14 días)		0.02	0.02															
CEMENTO "ESTRUCTURAL" (TIPO HE)	VALORES TÍPICOS (psi)	ASTM C-1157 - 10	Resistencia a la Compresión Cemento "ESTRUCTURAL" (TIPO HE)															
Resistencia a la Compresión 1 días	1,740	1,740	 <table><caption>Datos del Gráfico de Resistencia a la Compresión</caption><thead><tr><th>Edad</th><th>Resistencia (psi) - ARGOS</th><th>Resistencia (psi) - ASTM C-1157</th></tr></thead><tbody><tr><td>1 día</td><td>1,740</td><td>1,740</td></tr><tr><td>3 días</td><td>3,480</td><td>3,480</td></tr><tr><td>7 días</td><td>4,000</td><td>4,000</td></tr><tr><td>28 días</td><td>6,000</td><td>6,000</td></tr></tbody></table>	Edad	Resistencia (psi) - ARGOS	Resistencia (psi) - ASTM C-1157	1 día	1,740	1,740	3 días	3,480	3,480	7 días	4,000	4,000	28 días	6,000	6,000
Edad	Resistencia (psi) - ARGOS	Resistencia (psi) - ASTM C-1157																
1 día	1,740	1,740																
3 días	3,480	3,480																
7 días	4,000	4,000																
28 días	6,000	6,000																
Resistencia a la Compresión 3 días	3,480	3,480																
Resistencia a la Compresión 7 días	4,000																
Resistencia a la Compresión 28 días	6,000																

"La información del catálogo obedece a resultados promedios y pueden variar con el tiempo"

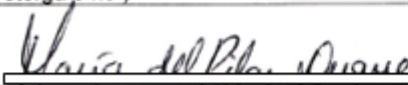
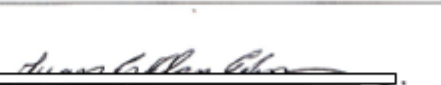
Fuente: documento 02 cemento estructural (ARGOS S. A., 2012).




ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

ACTA DE EVALUACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Fecha: (dd/mm/aa)	19/11/2013				
Nombre del proyecto:	Impacto económico del uso de aditivos a base de nanosilice en mezclas de concreto con cenizas volantes. Caso: Ahinco S.A				
Director del proyecto:	Juan Esteban Gomez Rodríguez				
<table border="1"> <tr> <td>Nombre del estudiante</td> <td>Programa académico</td> </tr> <tr> <td>Daniel Gómez Arcila</td> <td>Ingeniería Civil</td> </tr> </table>	Nombre del estudiante	Programa académico	Daniel Gómez Arcila	Ingeniería Civil	
Nombre del estudiante	Programa académico				
Daniel Gómez Arcila	Ingeniería Civil				
Nombre del Jurado:					
Evaluación del proyecto:					
<input type="checkbox"/> No aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado					
Espacio exclusivo para jurado					
<input type="checkbox"/> Mención Pública <input type="checkbox"/> Mención honorífica <input type="checkbox"/> Trabajo laureado					
Justificación del reconocimiento: (Artículo 28 del Acuerdo 11: "El director del Programa presentará el acta final de evaluación al Consejo Académico, donde consta la solicitud de mención especial debidamente justificada y el Consejo determinará si se otorga o no")					

Director del Programa Director del Trabajo de Grado



Jurado